



TUGAS AKHIR - TM 091585

EVALUASI KEKAKUAN DAN KEKUATAN MATERIAL KOMPOSIT TERHADAP BEBAN STATIS PADA *BODY* DAN *CHASSIS* WIDYA WAHANA V

Endry Zhulham Pratama
NRP 2110 100 099

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TM 091585

STIFFNESS AND STRENGTH EVALUATION OF COMPOSITE MATERIAL FOR STATIC LOAD OF WIDYA WAHANA V BODY AND CHASSIS

**Endry Zhulham Pratama
NRP 2110 100 099**

**Advisor
Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

**EVALUASI KEKAKUAN DAN KEKUATAN
MATERIAL KOMPOSIT TERHADAP BEBAN
STATIS PADA *BODY* DAN *CHASSIS*
WIDYA WAHANA V**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Endry Zhulham Pratama
NRP. 2110 100 099

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT
(NIP. 197407032000031001)

2. Indra Sidharta, ST., M.Sc
(NIP. 198006192006041004)

3. Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc
(NIP. 198202092012121001)



(Pembimbing)

(Penguji I)

(Penguji II)

SURABAYA
Juli, 2015

EVALUASI KEKAKUAN DAN KEKUATAN MATERIAL KOMPOSIT TERHADAP BEBAN STATIS PADA *BODY* DAN *CHASSIS* WIDYA WAHANA V

Nama Mahasiswa : Endry Zhulham Pratama
NRP : 2110100099
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

ABSTRAK

Widya Wahana V adalah mobil tenaga surya karya mahasiswa ITS yang akan mengikuti kejuaraan *World Solar Challenge* 2015 di Australia. *Body* dan *chassis* dari WidyaWahana V menggunakan material komposit, sehingga perlu dilakukan penelitian terkait kekakuan dan kekuatan dari rancangan desain *Body* dan *chassis* Widya Wahana V.

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode simulasi menggunakan *software finite element*. Material WidyaWahana V menggunakan *epoxy* dengan penguat *carbon fiber* ditambah aluminium *honeycomb* dan *nomex honeycomb* sebagai material inti pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V. Pada penelitian ini terdapat empat model Widya Wahana V, dimana masing-masing model dilakukan pembebanan statis berupa *torsional bending*, *vertikal bending* dan *lateral bending*.

Dari keempat model Widya Wahana V, didapatkan model 1 yang diambil sebagai rancangan desain terbaik WidyaWahana V. Hasil Widya Wahana V model 1 memiliki kekuatan yang baik, dimana tegangan maksimal yang dihasilkan akibat vertikal *bending* sebesar 28,653 Mpa dan akibat *lateral bending* sebesar 95,995 Mpa, nilai tersebut masih berada dibawah tegangan izin dari material. Kekakuan yang dimiliki Widya Wahana V model 1 juga baik dengan melihat profil jalan Australia yang memiliki permukaan halus, dimana nilai *torsional stiffness* yang dimiliki Widya Wahana V model 1 sebesar 10.539,38 Nm/deg. Berat yang dimiliki Widya Wahana V model 1 sebesar 72,364 Kg dan masih berada dibawah berat maksimal rancangan.

Kata Kunci : *WidyaWahana V, epoxy-carbon fiber, nomex honeycomb, aluminiumhoneycomb, software finite element.*



STIFFNESS AND STRENGTH EVALUATION OF COMPOSITE MATERIAL FOR STATIC LOAD OF WIDYA WAHANA V BODY AND CHASSIS

Name : Endry Zhulham Pratama
NRP : 2110100099
Departement : Mechanical Engineering-ITS
Advisor : Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T.

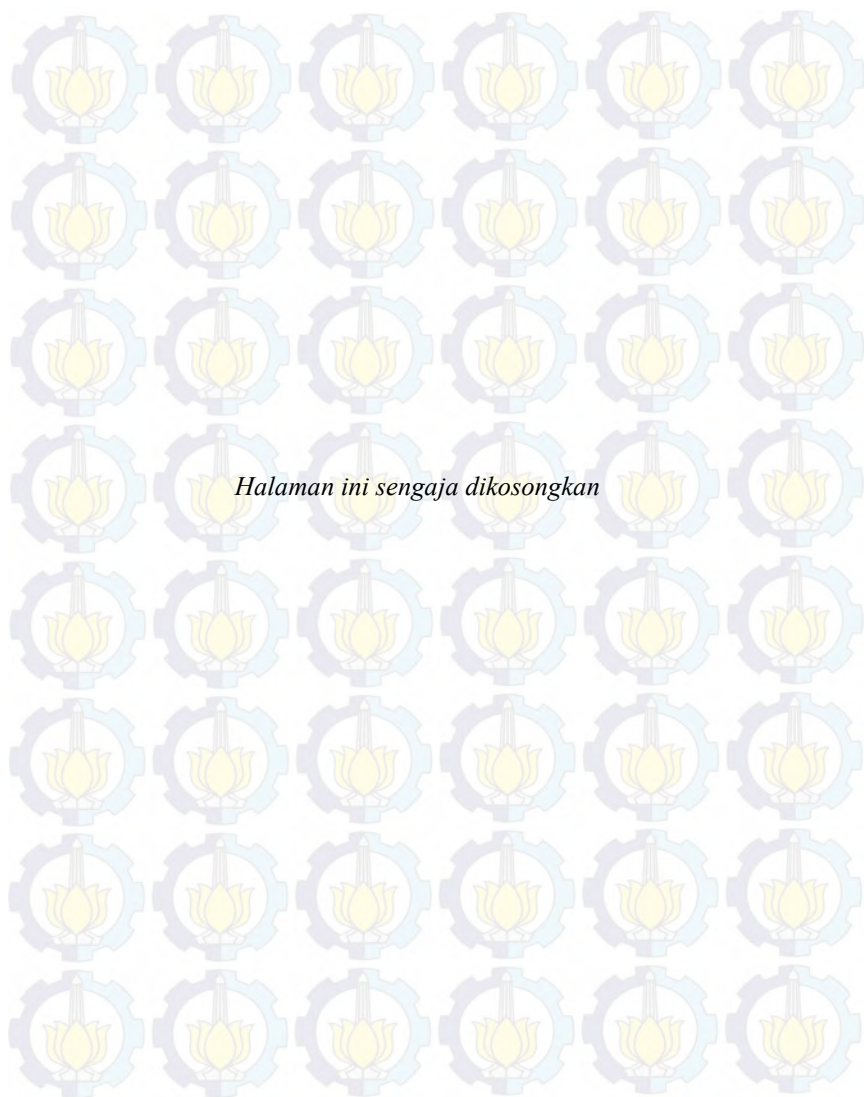
ABSTRACT

Widya Wahana V is a Solar powered vehicle, a work of ITS's undergraduate student that will join the World Solar Challenge 2015 in Australia. WidyaWahana V's Body and Chassis is made of composite material, therefore a further research about its Body and Chassis's Stiffness and the Strength is needed.

The method used in this research is the method of simulation using finite element software. Widya Wahana V's is using epoxy and carbon fiber reinforcement with aluminium honeycomb and nomex honeycomb for Widya Wahana V's body and chassis core material. In this study there are four model of Widya Wahana V, where in each model is done in the form of static loading torsional bending, vertical bending and lateral bending.

From the four model of Widya Wahana V, obtained the model 1 is the best design draft of Widya Wahana V. The result of the first model has a good strenght where the maximum stress due to vertical bending is 28.653 Mpa and the lateral bending is 95.995 Mpa, the value is still under the material's yield strength. Widya Wahana V's stiffness is also good to see that the Australian road profile is well-built, whereas the value of its Torsional Stiffness of the first model of Widya Wahana V is 10,539.38 Nm/deg. The weight of the first model of Widya Wahana V is 73.364 Kg and still under its design's draft.

Keywords : *Aluminium honeycomb, epoxy-carbon fiber, nomex honeycomb, software finite element, Widya Wahana V.*



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan taufik-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas akhir ini berjudul **“Evaluasi Kekakuan dan Kekuatan Material Komposit terhadap Beban Statis pada *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V”**.

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik bagi mahasiswa Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak untuk perbaikan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan atas bantuan berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil secara langsung maupun tidak langsung, terutama kepada :

1. Teristimewa kepada Orang Tua penulis Agus Somad dan Yendrianis yang selalu mendoakan, memberikan motivasi, memberikan kasih sayang dan memberikan yang terbaik untuk penulis.
2. Bapak Dr. Eng Sutikno, ST, MT selaku dosen pembimbing yang tidak bosan-bosannya mengingatkan dan membimbing penulis.
3. Bapak Dr. Muhammad Nur Yuniarto selaku dosen pembimbing *ITS Solar Car Racing Team* dan dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan untuk memperbaiki Tugas akhir ini.
4. Bapak Indra Sidharta, ST, MSc dan Bapak Wahyu Wijnarko, ST, MSc selaku dosen penguji Tugas Akhir ini yang telah memberikan saran dan masukan untuk memperbaiki Tugas akhir ini.
5. Para Sahabat : AUFAR, Kenyet, Tegar, Botol, Hisyam, Bernard, Ucup, Safaat, Uta-Uti, Dian, Ainun, Irfan, Ogi, Ruben, Jordy, Seno, Tono, Squid, Om Welly, Om Gogon, Om Mat, Om Kawur, Grangang, Mas Yuli, Cak Nur, Cak Wan, Mas Anam, Mas Antok, Mas Sapri dan teman-teman angkatan M-53 lainnya, terima kasih atas bantuan dan semangatnya baik secara langsung maupun tidak langsung.

6. Semua pihak yang telah membantu penyelesaian Tugas Akhir ini.

Semoga Tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi masyarakat pada umumnya dan khususnya bagi penulis. Penulis mengucapkan mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila dalam penulisan ini terdapat kekeliruan.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang Masalah	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Batasan Masalah	3
I.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
II.1 Tinjauan Pustaka	5
II.2 Dasar Teori	10
II.2.1 Komposit	10
II.2.2 Matriks	12
II.2.3 Polimer	12
II.2.4 Penguat (<i>Reinforcement</i>)	15
II.2.5 Material Inti (<i>Core</i>)	21
II.2.6 <i>Chassis</i> Mobil	23
II.2.7 Pembebanan Pada Mobil	26
II.2.8 <i>Torsional Stiffness</i> Mobil	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Diagram Alir Penelitian	31
III.2 Diagram Alir Simulasi <i>Chassis</i> dan <i>Body</i> Widya Wahana V	32
III.3 Studi Literatur	34
III.4 Material Widya Wahana V	34
III.5 Desain Widya Wahana V	37
III.6 Perhitungan Pembebanan	41
III.7 Simulasi <i>Chassis</i> dan <i>Body</i> Widya Wahana V	43
III.8 Variasi Model Widya Wahana V	54
III.9 Analisa Data	54

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

IV.1 Data Spesifikasi <i>Body</i> dan <i>Chassis</i> Widy Wahana V	57
IV.1 Analisa Gambar Hasil Simulasi Vertikal <i>Bending</i>	63
IV.1 Analisa Gambar Hasil Simulasi <i>Lateral Bending</i>	71
IV.1 Analisa Gambar Hasil Simulasi <i>Torsional Bending</i>	79
IV.1 Analisa Data Grafik	87

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan	101
V.2 Saran	103

DAFTAR PUSTAKA

RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Properti Material.....	5
Tabel 2.2 Hasil analisa struktur (satu <i>layer</i> tanpa peredam karet).....	6
Tabel 2.3 Hasil analisa struktur (variasi jumlah layer tanpa dan dengan peredam karet).....	6
Tabel 2.4 Sifat material termoset.....	14
Tabel 2.5 Hasil pengujian kekakuan <i>chassis</i> beberapa jenis mobil	29
Tabel 3.1 Properti <i>epoxy</i> resin	32
Tabel 3.2 Properti <i>fiber carbon woven twill 3k X 3k</i>	32
Tabel 3.3 Properti <i>nomex honeycomb 2 mm</i>	35
Tabel 3.4 Properti aluminium <i>honeycomb 10 mm dan 20 mm</i>	36
Tabel 3.5 Properti <i>polycarbonate</i>	36
Tabel 3.6 Properti <i>ethylene vinyl acetate</i>	36
Tabel 3.7 Properti <i>lantorsoric XF</i>	37
Tabel 3.8 Properti <i>polyurethane</i>	37
Tabel 3.9 Properti lem <i>epoxy</i>	37
Tabel 3.10 Pembebanan vertikal	41
Tabel 3.11 Pembebanan akibat belok	42
Tabel 3.12 Pembebanan pada uji <i>torsional bending</i>	43
Tabel 3.13 <i>Boundary condition</i> dan <i>loading condition</i> pada desain <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V	43
Tabel 3.14 Penyusunan material pada <i>body</i> atas Widya Wahana V.....	51
Tabel 3.15 Penyusunan material pada <i>body</i> bawah Widya Wahana V.....	51
Tabel 3.16 Penyusunan material pada penyangga baterai Widya Wahana V.....	51
Tabel 3.17 Penyusunan material pada kursi Widya Wahana V.....	52
Tabel 3.18 Penyusunan material pada daerah kaca Widya Wahana V.....	52
Tabel 3.19 Penyusunan material pada daerah panel surya Widya Wahana V.....	52
Tabel 3.20 Penyusunan material pada <i>chassis</i> tipe 1 Widya Wahana V.....	52
Tabel 3.21 Penyusunan material pada <i>chassis</i> tipe 2 Widya Wahana V.....	53
Tabel 3.22 Penyusunan material pada <i>chassis</i> tipe 3 Widya Wahana V.....	53

Tabel 3.23 Penyusunan material pada <i>chassis</i> tipe 4 Widya Wahana V	53
Tabel 3.24 Rincian variasi model Widya Wahana V	54
Tabel 4.1 Rincian berat <i>body</i> Widya Wahana V	57
Tabel 4.2 Rincian berat <i>chassis</i> Widya Wahana V (Tipe 1)	57
Tabel 4.3 Rincian berat <i>chassis</i> Widya Wahana V (Tipe 2)	57
Tabel 4.4 Rincian berat <i>chassis</i> Widya Wahana V (Tipe 3)	58
Tabel 4.5 Rincian berat <i>chassis</i> Widya Wahana V (Tipe 4)	58
Tabel 4.6 Berat Total <i>Body</i> dan <i>Chassis</i> Widya Wahana V	58
Tabel 4.7 Nilai Tegangan <i>Von-Misses</i> Maksimal untuk <i>Vertikal Bending</i>	59
Tabel 4.8 Nilai Deformasi Maksimal untuk <i>Vertikal Bending</i>	59
Tabel 4.9 Nilai Tegangan <i>Von-Misses</i> Maksimal untuk <i>Lateral Bending</i>	59
Tabel 4.10 Nilai Deformasi Maksimal untuk <i>Lateral Bending</i>	59
Tabel 4.11 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Depan (Model 1)	59
Tabel 4.12 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Depan (Model 2)	59
Tabel 4.13 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Depan (Model 3)	60
Tabel 4.14 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Depan (Model 4)	60
Tabel 4.15 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Belakang (Model 1)	60
Tabel 4.16 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Belakang (Model 2)	61
Tabel 4.17 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Belakang (Model 3)	61
Tabel 4.18 Data <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Belakang (Model 4)	61
Tabel 4.19 <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Depan	61
Tabel 4.20 Nilai <i>Torsional Stiffness</i> Pembebanan Belakang	62
Tabel 4.21 Nilai <i>Torsional Stiffness</i> /Berat Pembebanan Depan	62
Tabel 4.22 Nilai <i>Torsional Stiffness</i> /Berat Pembebanan Belakang	62

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) sebagai salah satu perguruan tinggi negeri berbasis teknologi terbaik di Indonesia memiliki peranan penting dalam perkembangan teknologi di Indonesia. Salah satu bidang teknologi yang sedang dikembangkan oleh ITS adalah teknologi otomotif dengan sumber energi alternatif yang berasal dari tenaga matahari sejak tahun 1985. Bentuk nyata dari keseriusan ITS dalam mengembangkan teknologi otomotif tenaga matahari adalah dengan mengikuti perlombaan *World Solar Challenge* (WSC) pada tanggal 6 – 13 Oktober 2013 di Australia. *World Solar Challenge* (WSC) adalah kejuaraan tingkat internasional dalam inovasi teknologi otomotif dengan sumber tenaga yang berasal dari matahari. Kejuaraan tersebut diikuti oleh berbagai universitas ternama di dunia, kejuaraan ini berlangsung dari kota Darwin hingga kota Adelaide dengan menempuh jarak sejauh ± 3000 Km. Mobil tenaga matahari karya mahasiswa ITS diberi nama Sapu Angin Surya. Pencapaian Sapu Angin Surya pada WSC 2013 menduduki peringkat 11 pada saat kualifikasi awal dan meraih peringkat 21 dari 31 peserta dengan jarak tempuh sejauh 784 Km dengan tenaga matahari. Salah satu faktor dari hasil yang kurang maksimal tersebut terdapat pada bobot Sapu Angin Surya yang sangat berat, yaitu ± 280 Kg dan mengakibatkan efisiensi motor listrik dari Sapu Angin Surya berkurang. Efisiensi motor listrik dapat ditingkatkan dengan cara mungurangi berat kendaraan. Evaluasi dari *body* dan *chassis* yang digunakan pada Sapu Angin Surya memiliki kekuatan dan kekakuan yang baik, akan tetapi bobot yang dimiliki masih berat sebesar 180 kg. *Body* dan *chassis* Sapu Angin Surya menggunakan material komposit.

Komposit merupakan kombinasi dari dua atau lebih material yang ditujukan menghasilkan sifat yang lebih baik. Komposit banyak digunakan karena bisa mengungguli material lain baik dari segi sifat mekanik maupun berat. Komponen material pada komposit dapat dibedakan baik secara fisik maupun kimia. Komposit terdiri dari berbagai jenis, salah satunya adalah komposit struktural *sandwich* dengan matriks polimer dengan penambahan penguat serat dan material inti untuk meningkatkan kekakuan.

Penelitian mengenai komposit sebagai material untuk *chassis* kendaraan sudah banyak dilakukan. Juvvi Siva Nagaraju dan U. Hari Babu melakukan penelitian mengenai perbandingan *chassis* kendaraan berat berbahan *carbon epoxy* dan *e-glass epoxy* dengan variasi jumlah *layer* dan arah sudut[21]. Carl Andersson Eurenius, Niklas Danielsson, Aneesh Khokar, Erik Krane, Martin Olofsson dan Jacob Wass melakukan penelitian mengenai *chassis* berbahan komposit *sandwich* pada *chassis* mobil Chalmers Formula Student (CFJ) [13]. Aplikasi *chassis* yang terbuat dari komposit *sandwich* dapat menurunkan bobot dari kendaraan namun tetap kaku dan kuat, sehingga efisiensi kendaraan dapat meningkat. Oleh karena itu pembuatan mobil tenaga matahari ITS selanjutnya yang diberi nama Widya Wahana V perlu dilakukan penelitian terhadap *body* dan *chassis*, desain *chassis* yang diterapkan untuk Widya Wahana V adalah *ladder chassis* dan jenis material yang dipakai adalah komposit *sandwich*. Struktur komposit *sandwich* yang digunakan adalah *epoxy resin* sebagai *matriks*, *carbon fiber* sebagai penguat, aluminium *honeycomb* dan *nomex honeycomb* sebagai material inti.

I.2 Rumusan Masalah

Material komposit struktural jenis *sandwich* merupakan jenis komposit yang sudah sering digunakan dalam pembuatan *chassis* mobil *sport* atau mobil khusus untuk perlombaan. Akan tetapi untuk pembuatan mobil tenaga matahari Widya Wahana V belum dapat diketahui kekakuan, kekuatan dan estimasi berat yang dimiliki Widya Wahana V. Penambahan aluminium *honeycomb* dan *nomex honeycomb* pada matriks *epoxy* berpenguat *carbon fiber* diketahui dapat meningkatkan kekakuan, meningkatkan ketangguhan, meningkatkan kekuatan serta dapat menurunkan nilai densitas sehingga menjadi lebih ringan dan dapat meningkatkan efisiensi Widya Wahana V.

Dalam penelitian ini, kemampuan material *composite sandwich* dalam menerima beban statis berupa *torsional bending* dan vertikal *bending* untuk aplikasi *body* dan *chassis* Widya Wahana V akan dievaluasi.

I.3 Tujuan Penelitian

Desain *body* dan *chassis* yang berat akan menurunkan efisiensi dari kendaraan. Oleh karena itu, pemilihan material yang ringan dan mempunyai kemampuan dalam menahan beban *bending* sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengevaluasi kekakuan dan kekuatan material *epoxy* dengan penguat *carbon fiber* ditambah aluminium *honeycomb* dan *nomex honeycomb* sebagai material inti terhadap berat dalam menerima beban statis berupa *torsional bending*, vertikal *bending* dan *lateral bending* pada masing-masing model.
2. Memberikan rekomendasi model Widya Wahana V yang dapat digunakan sebagai rancangan Widya Wahana V untuk *World Solar Challenge* 2015.

I.4 Batasan Masalah

Agar penulisan ini dapat mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang akan diberikan adalah sebagai berikut:

1. Berat rancangan *body* dan *chassis* maksimal sebesar 80 kg.
2. Massa yang terlibat dalam simulasi (SF=1,25) :
 - a. Penumpang : 2 x 100 kg
 - b. Baterai + baterai box : 72,369 kg
 - c. *Controller* : 2,919 kg
 - d. BMS : 2,812 kg
 - e. *System Box* : 4,637 kg
 - f. *Charger* Baterai : 2,312 kg
 - g. Kursi : 1,175 kg
3. *Nomex honeycomb* yang dipakai memiliki ketebalan 2 mm.
4. Aluminium *honeycomb* yang dipakai pada memiliki ketebalan 10 mm dan 20 mm.
5. Arah serat *carbon fiber* yang digunakan adalah 45° dan -45°.
6. Tebal lem *epoxy* adalah 0,6 mm.

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat digunakan sebagai referensi pembandingan dalam membuat *body* dan *chassis* Widya Wahana V.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

II.1 Tinjauan Pustaka

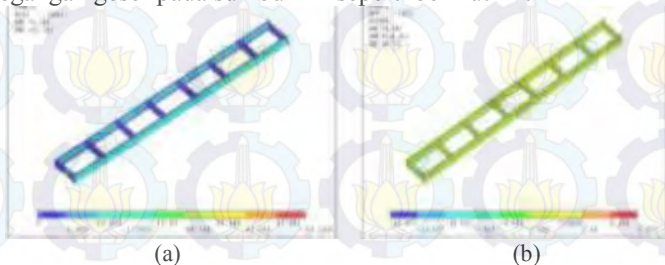
Pada tahun 2012 Juvvi Siva Nagaraju dan U. Hari Babu melakukan penelitian dengan judul “*Design and Structural Analysis of Heavy Vehicle Chassis Frame Made of Composite Material by Varying Reinforcement Angles of Layers*”[21]. Penelitian ini membahas mengenai perbandingan *chassis* kendaraan berat berbahan *steel*, *carbon epoxy* dan *e-glass epoxy* dengan variasi jumlah layer dan arah serat.

Simulasi yang dilakukan adalah dengan menganalisa struktur statis dari *chassis* kendaraan berat. Material yang digunakan adalah *carbon epoxy* dan *e-glass epoxy* dengan baja sebagai material pembanding yang sudah biasa digunakan sebagai material dari *chassis*. *Chassis* kendaraan berat yang digunakan adalah jenis *ladder chassis*. Data properti material dapat dilihat pada tabel 2.1.

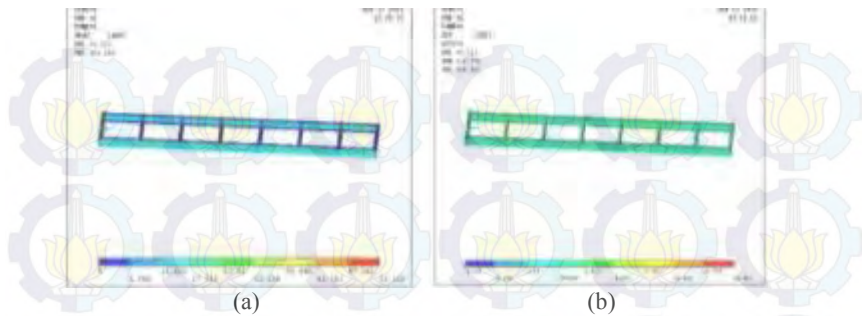
Tabel 2.1 Properti material [21].

No	Properties	Unit	Steel	Carbon Epoxy	E-Glass Epoxy	Rubber
1	Young's Modulus E11	N/mm ²	2.068×10^{11}	1.34×10^{11}	50×9	4
2	Density	Kg/mm ³	7850	1600	2000	2466
3	Poisson Ratio	-	0.3	0.3	0.3	0.49

Variasi yang dilakukan oleh peneliti adalah pada jumlah layer (3 layer, 5 layer dan 11 layer), arah sudut dan pembebanan dengan dan tanpa peredam karet. Hasil yang didapat dari penelitian ini berupa nilai distribusi tegangan, tegangan geser pada sumbu XY dan *displacement*. Salah satu hasil simulasinya adalah gambar dengan distribusi tegangan dan tegangan geser pada sumbu XY seperti berikut ini:



Gambar 2.1 Distribusi tegangan (a) dan tegangan geser (b) pada sumbu XY untuk material *epoxy carbon* (3 layer tanpa peredam karet) [21]



Gambar 2.2 Distribusi tegangan (a) dan tegangan geser (b) pada sumbu XY untuk material *e-glass epoxy* (3 layer tanpa peredam karet) [21]

Data hasil penelitian berupa simulasi statis analisa struktur dapat dilihat pada tabel 2.2 dan tabel 2.3.

Tabel 2.2 Hasil analisa struktur (satu layer tanpa peredam karet) [21]

	Steel	Carbon Epoxy	E-Glass Epoxy
Displacement (mm)	1,316	2,869	5,441
Stress (N/mm²)	77,072	92,878	77,072
Shear Stress in XY (N/mm²)	23,823	29,519	23,823

Tabel 2.3 Hasil analisa struktur (variasi jumlah layer tanpa dan dengan peredam karet) [21]

		3 Layers		5 Layers		11 Layers	
		Carbon Epoxy	E Glass	Carbon Epoxy	E Glass	Carbon Epoxy	E Glass
Displacement (mm)	Without Rubber	1,393	3,733	1,385	3,713	1,385	3,712
	Rubber	1,746	4,679	1,556	4,169	1,145	3,889
Stress (N/mm²)	Without Rubber	53,168	53,168	52,922	52,922	52,905	52,905
	Rubber	66,871	66,370	59,556	59,556	55,458	55,478
SS in XY (N/mm²)	Without Rubber	9,372	16,423	16,347	16,347	16,342	16,342
	Rubber	20,639	20,639	18,387	18,387	17,132	17,132

Berdasarkan hasil analisa struktur dari material *carbon epoxy* dan *e-glass epoxy*, nilai tegangan yang dihasilkan lebih besar dari nilai tegangan yang dihasilkan oleh baja dalam pengondisian untuk satu layer dan tanpa peredam karet. Untuk *carbon epoxy* dan *e-glass epoxy* dengan pengondisian lebih dari satu layer dengan dan tanpa peredam karet, nilai tegangan yang dihasilkan lebih kecil dari tegangan baja untuk kondisi satu layer dengan ketebalan tertentu. Sehingga peneliti menyimpulkan bahwa dengan menggunakan *carbon epoxy* dan *e-glass epoxy* dengan jumlah layer 3, 5 atau 11 layer dapat digunakan sebagai material chassis. Keuntungan lain dengan menggunakan *carbon epoxy* dan *e-glass epoxy* adalah dapat mereduksi berat sebanyak empat kali karena densitas *carbon epoxy* dan *e-glass epoxy* lebih rendah dari baja.

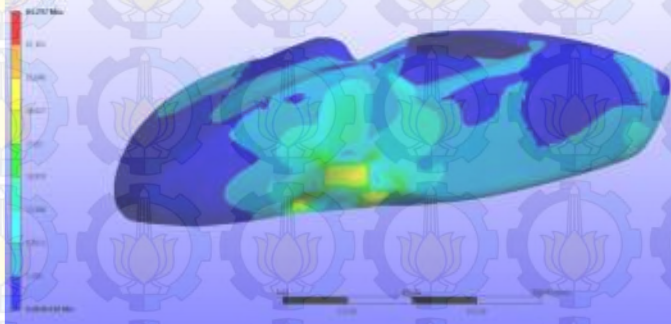
Pada tahun 2013 Carl Andersson Eurenus, Niklas Danielsson, Aneesh Khokar, Erik Krane, Martin Olofsson dan Jacob Wass melakukan penelitian dengan judul “*Analysis of Composite Chassis*”[13]. Penelitian ini membahas mengenai simulasi desain chassis pada mobil chalmers formula student dengan menggunakan *software finite element*, chassis yang digunakan adalah tipe *hybrid composite chassis* yang merupakan kombinasi antara *composite monocoque chassis* dan *rear space frame*. Desain chassis dapat dilihat pada gambar 2.3.



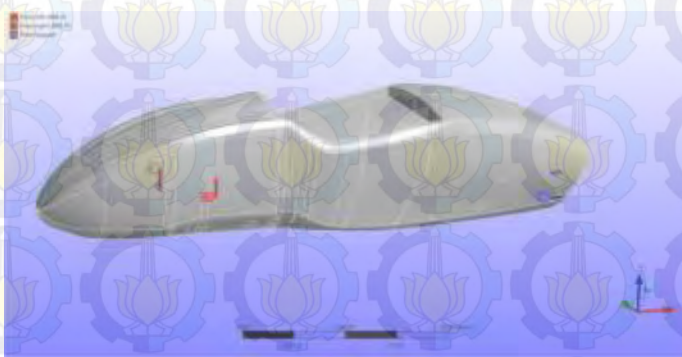
Gambar 2.3 Chalmers formula student hybrid chassis[13].

Material yang digunakan untuk *rear space frame* adalah baja ringan, sedangkan material yang digunakan untuk *monocoque chassis* adalah *woven carbon fiber prepreps* sebagai *skin* dan aluminium *honeycomb*

sebagai *core*. Simulasi yang dilakukan bertujuan untuk mencari tegangan maksimal yang diterima *composite monocoque chassis* pada saat pengereman maksimal dan *torsional stiffness* pada *composite monocoque chassis* yang dapat dilihat pada gambar 2.4.

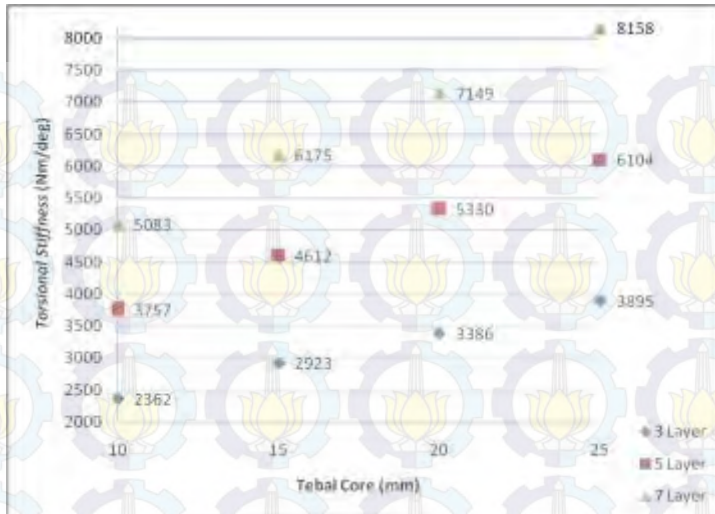


Gambar 2.4 *Equivalent stress* pada saat pengereman maksimal[13].

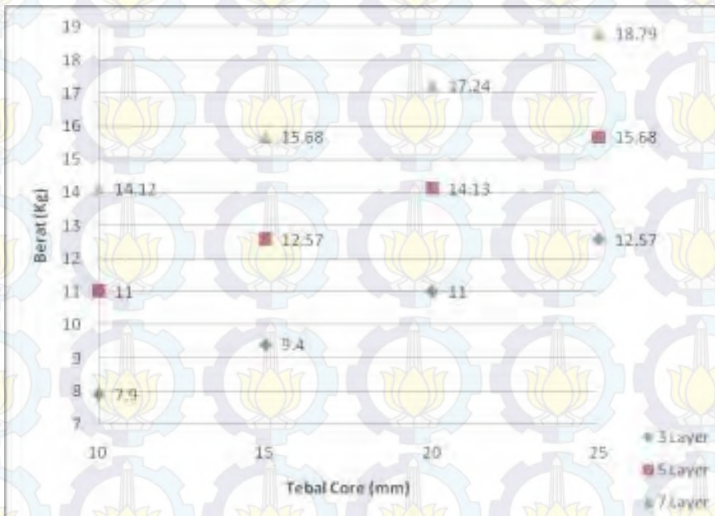


Gambar 2.5 *Torsional stiffness simulation setup*[13].

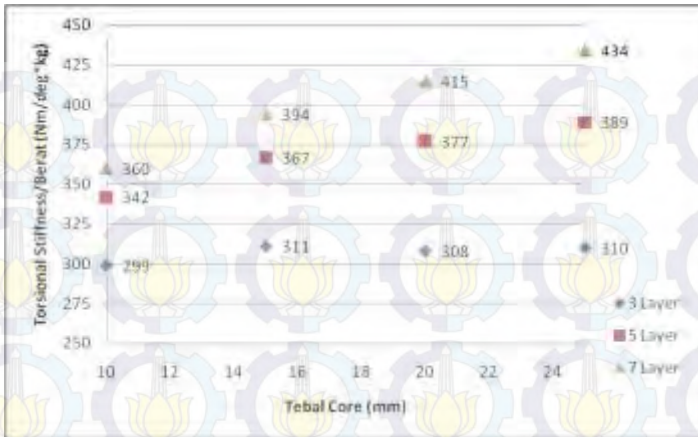
Pada simulasi *torsional stiffness*, variasi yang diberikan berupa jumlah *layer* (3, 5 dan 7 *layer woven carbon fiber prepreps*) serta variasi ketebalan *core aluminium honeycomb* (10 , 15, 20 dan 25 mm). Hasil yang didapat berupa nilai *torsional stiffness monocoque chassis* , berat *monocoque chassis* dan perbandingan *torsional stiffness* dengan berat untuk setiap variasi ketebalan *core* dan jumlah *layer*. Hasil yang didapat dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.6, gambar 2.7 dan gambar 2.8.



Gambar 2.6 Grafik *torsional stiffness* vs tebal *core* dan jumlah *layer*[13].



Gambar 2.7 Grafik berat vs tebal *core* dan jumlah *layer*[13].



Gambar 2.8 Grafik *torsional stiffness/berat* vs tebal *core* dan jumlah *layer*[13].

Kesimpulan dari penelitian ini adalah nilai *torsional stiffness* meningkat secara linier sebanding dengan peningkatan ketebalan *core* dan peningkatan jumlah *layer*. Begitu pula untuk berat, untuk peningkatan berat *chassis* berbanding lurus dengan peningkatan tebal *core* dan jumlah *layer*. Hasil yang didapat dari simulasi ini akan dijadikan referensi dalam pembuatan *chassis chalmers formula student* agar nantinya tidak terjadi *over design*.

II.2 Dasar Teori

II.2.1 Komposit

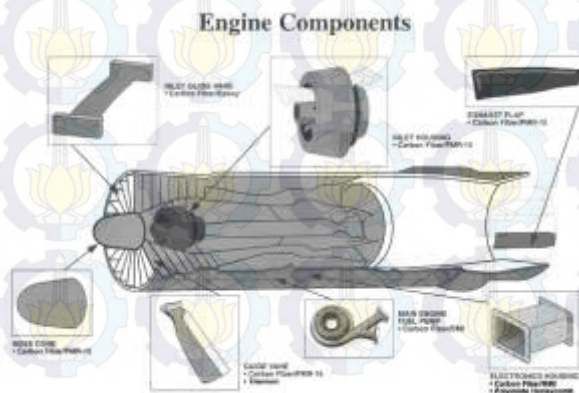
Komposit merupakan material *multifase* yang didapatkan dari kombinasi material yang berbeda untuk mendapatkan sifat mekanik yang tidak bisa didapatkan apabila material diaplikasikan secara individual[4]. Komponen-komponen penyusun komposit tetap bisa dibedakan secara makro dan memiliki sifat seperti sebelumnya. Material komposit banyak diaplikasikan karena memiliki kombinasi sifat yang tidak bisa didapatkan apabila menggunakan material konvensional seperti logam, polimer, maupun keramik.

Sifat komposit bervariasi dan tergantung pada berbagai macam faktor antara lain : jenis komponen yang dipilih, distribusi komponen, dan morfologi komponen.

Ada beberapa kelebihan dari komposit apabila dibandingkan dengan material konvensional antara lain :

1. Material komposit mampu berperan menjadi bagian terintegrasi, misalnya satu komposit mampu menggantikan peran dari beberapa material logam.
2. Komposit memiliki *stiffness-to-density ratio* yang baik. Rasionya 1/5 dari baja dan 1/2 dari aluminium.
3. Komposit memiliki *strength-to-density ratio* yang baik. Dengan kelebihan ini pesawat maupun kendaraan bermotor bisa bergerak lebih cepat dengan efisiensi bahan bakar yang lebih baik. Kekuatan spesifiknya sekitar tiga hingga lima kali lebih baik jika dibandingkan dengan baja, oleh karena itu komponen pesawat terbang menggunakan komposit karena lebih ringan namun tetap kuat.
4. *Endurance limit* (*fatigue strength*) dari komposit baik. Untuk paduan aluminium maupun baja *endurance limit* berada pada 50% dari nilai *static strength*, sementara untuk *unidirectional carbon/epoxy composite* bisa mencapai 90% dari *static strength*. [19]

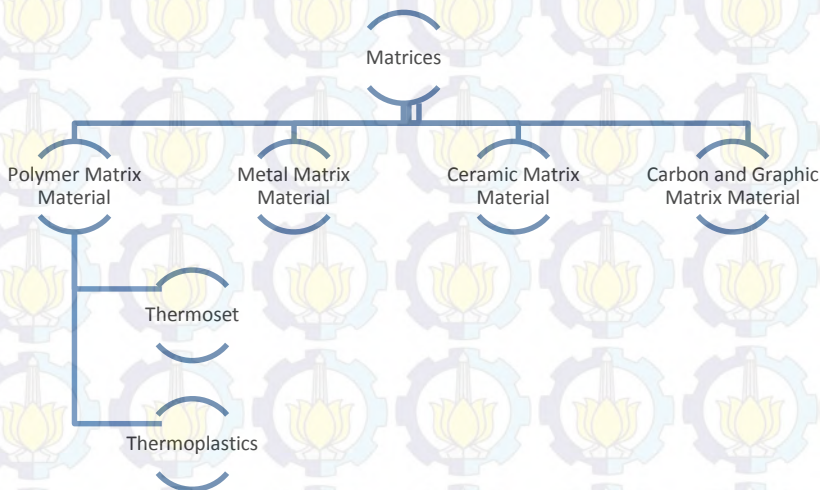
Komposit banyak diaplikasikan dalam dunia industri, salah satunya adalah industri pesawat terbang. Komponen pesawat terbang harus memiliki *strength-to-density* yang baik, komponen harus ringan tapi kuat, dimana dengan berat yang sama komposit mampu menahan beban yang memiliki nilai lebih tinggi jika dibanding dengan baja agar pesawat mampu terbang dengan kinerja lebih baik. Berikut ini contoh gambar aplikasi pada komponen penyusun mesin pesawat terbang yang terbuat dari komposit :



Gambar 2.9 Komponen pada mesin pesawat yang terbuat dari komposit [19].

II.2.2 Matriks

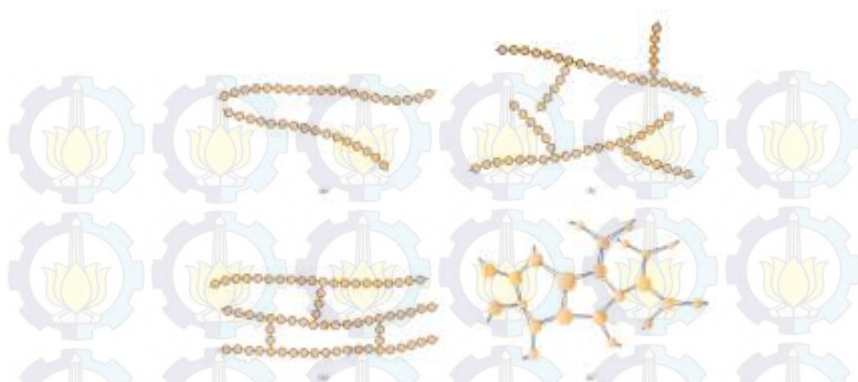
Komposit umumnya terdiri dari komponen *matriks* dan pengisi (*filler*). *Matriks* yang berfungsi untuk mengikat *filler* serta mendistribusikan tegangan yang diterima oleh komposit, *filler* umumnya bersifat lebih kuat dan kaku jika dibandingkan dengan matriks, sehingga *filler* berfungsi sebagai penguat (*reinforcement*). Matriks dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis materialnya.



Gambar 2.10 Klasifikasi matriks[22].

II.2.3 Polimer

Kata polimer berasal dari bahasa Yunani, *poly* yang berarti banyak dan *meros* yang berarti bagian. Polimer merupakan molekul panjang yang tersusun dari monomer-monomer yang terhubung dari ujung ke ujung[9]. Struktur polimer terdiri dari berbagai jenis yaitu linear, bercabang (*branched*), *cross-linked*, dan jaringan (*network*).



Gambar 2.11 Struktur polimer, (a) linear, (b) *branched*, (c) *cross-linked*, (d) *network*[2].

Ada dua jenis polimer, yaitu polimer termoset dan polimer termoplastik. Polimer termoset merupakan polimer yang apabila dipanaskan hingga suhu tertentu akan membentuk susunan berupa *crosslink* yang tidak bisa dikembalikan seperti semula (*irreversible*). Contoh dari material polimer termoset adalah *epoxy*, *phenolics*, dan beberapa jenis poliester resin. Material polimer termoplastik dapat dipanaskan maupun didinginkan secara berulang-ulang, material ini lebih fleksibel jika dibandingkan dengan material termoset, contoh dari material termoplastik adalah polivinil klorida, polietilen, dan polistiren.

II.2.3.1 *Epoxy*

Epoxy didapatkan dengan proses *curing* (*cross-linking*) secara kimiawi dengan amina, anhidrida, fenol, asam karboksilik, dan alkohol. *Epoxy* merupakan resin cair yang mengandung beberapa group epoksida seperti *diglycidyl ether of bisphenol A* (DGEBA) yang memiliki dua grup epoksida. Proses *curing* dilakukan dengan cara menambahkan *curing agent*, misalnya *diethylene triamine* (DETA). Selama proses *curing* molekul-molekul DGEBA akan membentuk ikatan cross-link. Ikatan ini akan menghasilkan bentuk tiga dimensi yang disebut *network* dan akhirnya membentuk *epoxy* padat.

Epoxy merupakan salah satu polimer termoset. *Epoxy* merupakan material serba guna yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. *Epoxy* banyak digunakan dalam industri penerbangan maupun digunakan untuk peralatan olahraga. Ada berbagai

jenis dan *grade*, sehingga bisa disesuaikan untuk aplikasinya. Adapun beberapa kelebihan dari *epoxy* antara lain :

- Cocok untuk material matiks karena penyusutan material rendah.
- Sifat adhesif material baik.
- Ketahanan kimia material yang baik.
- Material memiliki sifat mekanik, seperti ketangguhan yang baik.
- Temperatur *curing* 120⁰-170⁰ C.
- *Flame resistance* yang baik[22].

Tabel 2.4 Sifat material termoset[9]

Resin Material	Density (g/cm ³)	Tensile Modulus (Gpa)	Tensile Strength (Mpa)
<i>Epoxy</i>	1.2-1.4	2.5-5.0	50-110

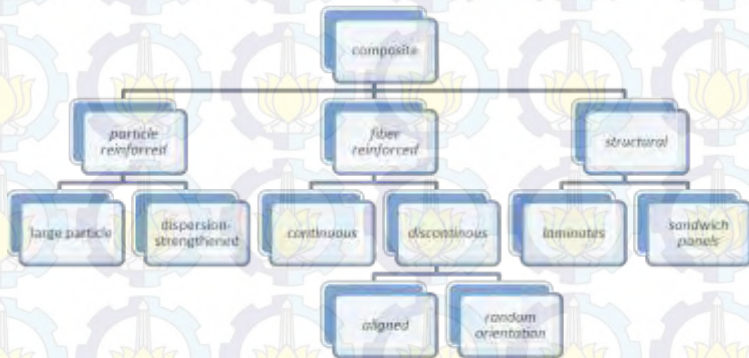
Dari berbagai jenis material termoset ada kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Berikut ini adalah gambar mengenai kelebihan dan kekurangan untuk material *epoxy*, *vinylester*, dan *polyester* :

Polyesters	Vinylesters	Epoxies
<ul style="list-style-type: none"> • Advantages <ul style="list-style-type: none"> • easy to use • lowest cost of resins available • Disadvantages <ul style="list-style-type: none"> • only moderate mechanical properties • high styrene emission in open moulds • high cure shrinkage • limited range of working times 	<ul style="list-style-type: none"> • Advantages <ul style="list-style-type: none"> • very high chemical/environmental resistance • high mechanical properties than polyester • Disadvantages <ul style="list-style-type: none"> • Postcure generally required for high properties • high styrene content • higher cost than polyesters • high cure shrinkage 	<ul style="list-style-type: none"> • Advantages <ul style="list-style-type: none"> • high mechanical and thermal properties • high water resistance • long working times available • temperatur resistance can be up to 140°C wet or 220°C dry • Low cure shrinkage • Disadvantages <ul style="list-style-type: none"> • more expensive than vinylester • critical mixing • corrosive handling

Gambar 2.12 Kelebihan dan kekurangan material polimer *polyester*, *vinilester* dan *epoxy*[25].

II.2.4 Penguat (*Reinforcement*)

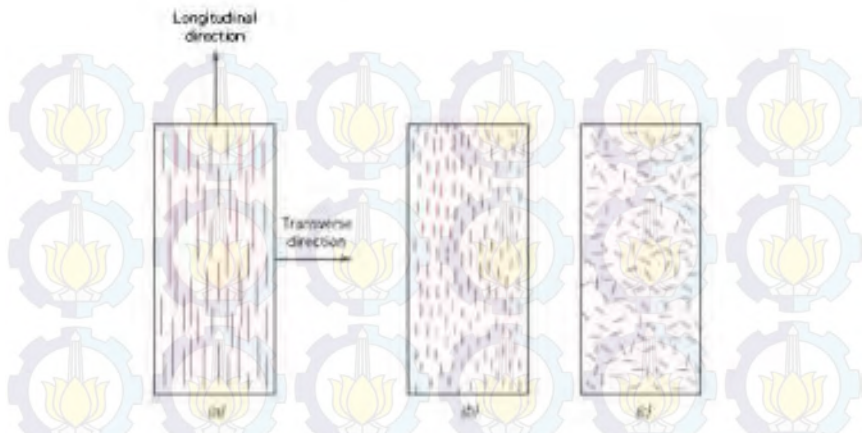
Komposit bisa diklasifikasikan berdasarkan jenis penguatnya, ada beberapa jenis komposit berdasarkan penguatnya, diantaranya adalah komposit dengan penguat partikel, komposit dengan penguat *fiber*, dan komposit struktural.



Gambar 2.13 Klasifikasi komposit[2].

II.2.4.1 *Fiber Reinforced Composite*

Pada sub-spesifikasi *fiber reinforced*, penguat yang digunakan berbentuk serat. Ada dua jenis yaitu *continuous* (serat panjang) dan *discontinuous* (serat pendek), kedua jenis ini dibedakan berdasarkan bentuk susunan seratnya. Pada *discontinuous* ada dua jenis yaitu *aligned* (lurus) dan *random orientation* (acak). Interaksi antara matriks dan penguat memegang peranan penting. Penguat cenderung menahan pergeseran *matriks* di sepanjang serat dan menerima distribusi tegangan dari matriks. Peningkatan kualitas sifat-sifat mekaniknya tergantung pada ikatan *interface* matriks dan seratnya. *Fiber reinforced composites* memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi jika menerima gaya searah dengan arah serat, akan tetapi jika gaya yang diterima tegak lurus dengan arah serat maka kekuatan dan kekakuannya akan sangat lemah.



Gambar 2.14 *Continuous and aligned* (a), *discontinuous and aligned* (b) dan *discontinuous randomly oriented fiber reinforced composites* (c)[2].

Berdasarkan penempatannya terdapat beberapa tipe serat pada komposit, yaitu:

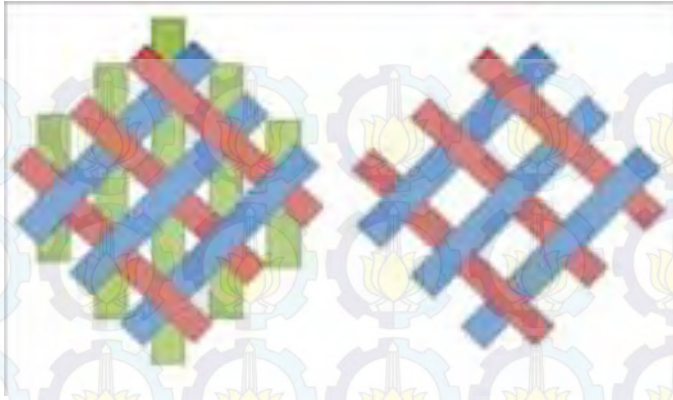
A.) *Continous fiber / Uni-directional*, mempunyai susunan serat panjang dan lurus, membentuk lamina diantara matriksnya. Jenis komposit ini paling banyak digunakan. Kekurangan tipe ini adalah lemahnya kekuatan antar lapisan. Hal ini dikarenakan kekuatan antar lapisan dipengaruhi oleh matriksnya.

B.) *Woven fiber*, komposit ini tidak mudah terpengaruh pemisahan antar lapisan karena susunan seratnya juga mengikat antar lapisan. Akan tetapi susunan serat memanjangnya yang tidak begitu lurus mengakibatkan kekutan dan kekakuan tidak sebaik tipe *continous fiber*.

C.) *Discontinous fiber (chopped fiber)*, komposit dengan serat pendek ini dibedakan menjadi:

1. *Aligned discountinuous fiber*
2. *Off-axis aligned discountinuous fiber*
3. *Randomly oriented discountinuous fiber*

D.) *Hybrid fiber*, gabungan antara tipe serat lurus dengan serat acak. pertimbangan tipe ini adalah dapat meminimalisir kekurangan dari dua tipe dan menggabungkan kelebihan dari dua tipe tersebut.



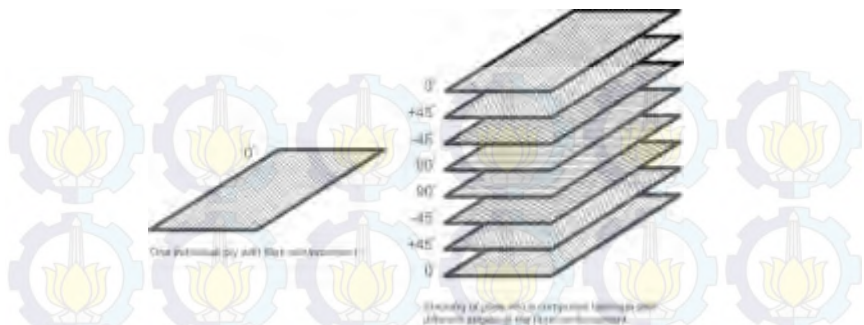
Gambar 2.15 *Woven fiber triaxial* (kiri) dan *biaxial* (kanan)[10].

Fungsi utama dari *reinforcement* dalam komposit adalah:

1. Untuk menerima beban gaya. Karena pada struktur komposit, 70% - 90% gaya diterima oleh *reinforcement*.
2. Untuk memberikan kekakuan, kekuatan dan properti struktur lainnya pada komposit.
3. Untuk memberikan konduktivitas listrik (tergantung pada jenis serat yang digunakan)[19].

II.2.4.2 Composite Structural

Pada gambar 2.13 tentang klasifikasi komposit, sub-spesifikasi struktural komposit terdiri dari *laminat* dan *sandwich panel*. *Laminat* adalah gabungan dari dua atau lebih *lamina* (satu lembar komposit dengan arah serat tertentu) yang membentuk elemen struktur secara integral pada komposit. Proses pembentukan *lamina* menjadi *laminat* dinamakan proses *laminasi*. Sebagai elemen sebuah struktur, *lamina* yang serat penguatnya searah saja (*unidirectional lamina*) pada umumnya tidak menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk. Untuk itulah struktur komposit dibuat dalam bentuk *laminat* yang terdiri dari beberapa macam *lamina* yang diorientasikan dalam arah serat yang berbeda dan digabungkan bersama sebagai sebuah unit struktur.



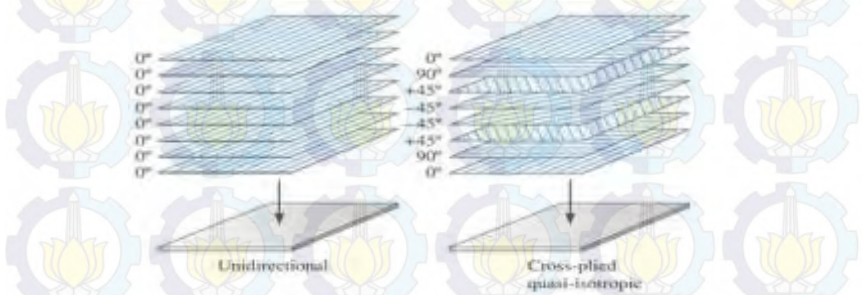
Gambar 2.16 *Lamina* (kiri) dan *laminate* (kanan)[5].

Terdapat beberapa jenis laminate, yaitu:

A.) *Continous fiber laminate*, lamina penyusunnya dengan serat yang tidak terputus hingga mencaai ujung - ujung lamina. *Continous fiber laminate* terdiri dari:

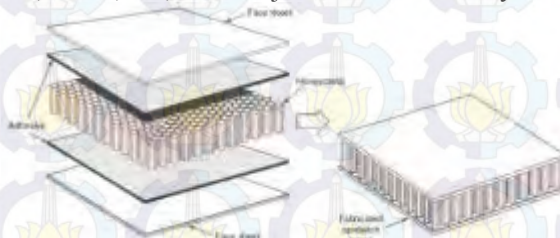
1. *Unidirectional, laminate* dengan tiap *lamina* mempunyai arah serat yang sama. kekuatan terbesar dari jenis *laminate* ini adalah searah seratnya.
2. *Crossplied quasi-isotropic*, laminate ini mempunyai susunan lamina dengan serat yang saling tegak lurus satu sama lain.
3. *Random/woven fiber composite*, Laminate ini mempunyai susunan serat dengan bentuk anyaman.

B.) *Discountinuous fiber laminate*, *laminate* dengan masing - masing *lamina* terdiri dari potongan serat pendek yang terputus dalam arah tertentu atau acak.



Gambar 2.17 *Laminate unidirectional* (kiri) dan *crossplied quasi - isotropic* (kanan)[23].

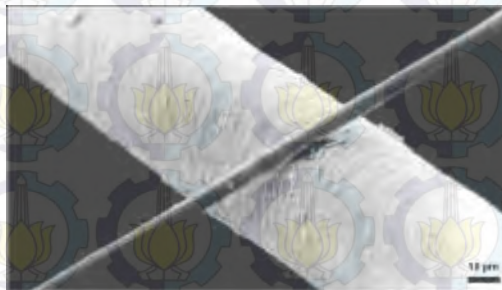
Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan, yaitu 2 lapisan luar (*skin*) dan 1 lapisan inti (*core*). Lapisan luar dan lapisan inti digabungkan menggunakan lapisan *adhesive* berupa *epoxy structural* atau *adesive film*. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang cocok untuk menahan beban lentur, kejut dan meredam getaran dan suara. Komposit *sandwich* dapat diaplikasikan sebagai struktural maupun non-struktural dari bagian *internal* maupun *eksternal* pada pesawat, kereta, bus, truk dan jenis kendaraan lainnya.



Gambar 2.18 Konstruksi composite sandwich[16]

II.2.4.3 Carbon Fiber

Carbon fiber merupakan material yang terdiri dari serat berdiameter 5-10 μm dengan sebagian besar susunannya adalah atom karbon, dimana struktur karbon berbentuk kristal. Ukuran *tow* pada *carbon fiber* terdiri dari 3k, 6k, 12k, 24k, 40k, 48k, 80k, 160k, 320k, 400k dan 410k. Untuk 1 *tow* yang terdiri dari 3k maksudnya adalah terdiri dari 3000 serat[20]



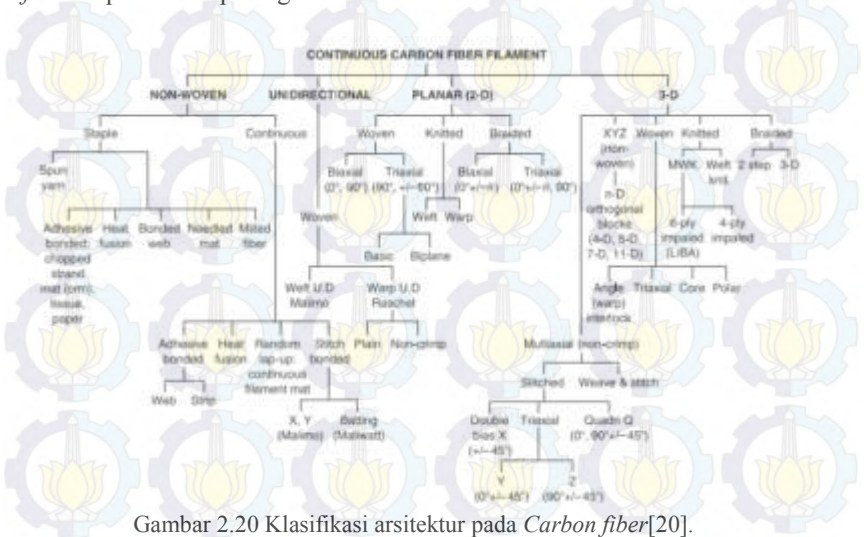
Gambar 2.19 Perbandingan ukuran *carbon fiber* 6 μm (hitam) dengan rambut manusia (abu-abu)[11].

(*Polyacrylonitrile*) dan Rayon yang biasa digunakan saat ini, material tersebut merupakan polimer tekstil. Setelah proses karbonisasi dilanjutkan proses grafitisasi pada temperatur tinggi dan dilanjutkan dengan proses penggulungan serat-serat karbon atau ditenun menjadi bentuk anyaman. *Carbon fiber* dapat diaplikasikan pada pesawat terbang, otomotif, konstruksi, militer, dan peralatan olahraga. *Carbon fiber* biasanya dijadikan *filler* untuk material komposit, kelebihan dari *carbon fiber* ini antara lain:

- Memiliki massa jenis yang kecil.
- Memiliki kekakuan, kekuatan tarik dan modulus elastisitas yang tinggi.
- Memiliki *chemical resistance* yang tinggi, *temperature tolerance* yang tinggi and *thermal*

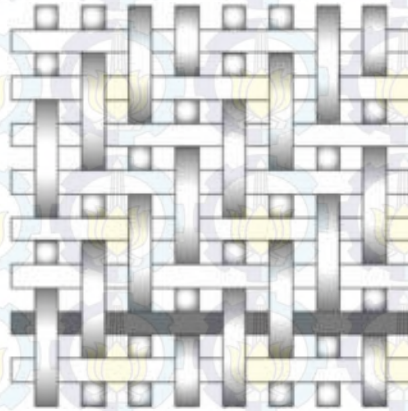
- Memiliki *chemical resistance* yang tinggi, *temperature tolerance* yang tinggi and *thermal expansion* yang rendah[11].

atau tenunan seperti kain, perbedaan bentuk dan jenis anyaman memiliki sifat yang berbeda - beda. Klasifikasi arsitektur dari *carbon fiber* dapat dilihat pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Klasifikasi arsitektur pada *Carbon fiber*[20].

Pada sub-spesifikasi *planar (2-D)*, *woven biaxial* terdiri dari *plain weave*, *basket weave*, *leno weave*, *mock leno weave*, *twill weave*, *satin weave* dan *high modulus weave*. Pada bentuk *twill weave*, pola yang dibentuk adalah pola selang - seling dengan 1 *tow* melewati 2 *tow* diatas atau dibawah, pola ini cukup baik karena anyamannya yang cukup rekat.



Gambar 2.21 *Twill weave*[20].

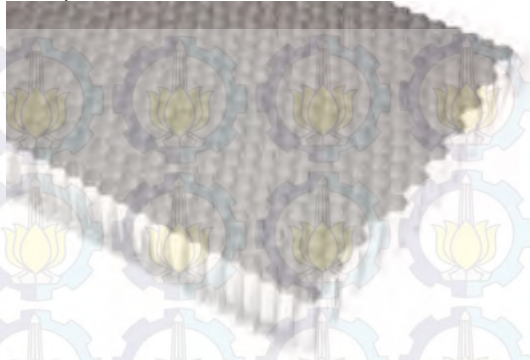
II.2.5 Material Inti (*core*)

Material *core* adalah material yang berfungsi untuk membuat struktur komposit menjadi kaku, menambah ketebalan komposit tanpa meningkatkan berat secara drastis. Contoh dari material *core* yang digunakan pada komposit adalah *honeycomb*, *foam*, kayu balsa, *lantor soric* dan *diviny cell*.

II.2.5.1 *Honeycomb Core*

Honeycomb core adalah material dengan susunan *cell* berbentuk hexagonal seperti sarang lebah. Geometri hexagonal adalah geometri yang mampu disusun tanpa terputus dan bentuknya yang segi enam dapat mentransferkan beban yang diterima. Ada 3 jenis bahan *honeycomb core* yang sering dipakai untuk komposit yaitu aluminium, *nomex* *aramid* dan *polypropylene*. Pada saat ini sudah banyak bentuk - bentuk dari *cellhoneycomb core*, diantaranya adalah *OX-core*, *reinforced hexagonal core*, *flex core*, *double flex core* dan *tube core*[15].

A.) Aluminium *Honeycomb*



Gambar 2.22 Aluminium *honeycomb*[7].

Aluminium *Honeycomb* berbahan aluminium *alloy* seri 5056, 5052, 2024 dan 3003. Merupakan core utama yang sering digunakan pada komposit dalam bidang penerbangan dan otomotif. Aluminium *honeycomb* akan memberikan kekakuan yang tinggi dan mengurangi berat yang signifikan jika diproduksi dengan benar.

B.) Nomex *Honeycomb*



Gambar 2.23 Nomex *honeycomb*[7].

Honeycomb berbahan *aramid* merupakan *core* yang sering dipakai pada bidang penerbangan khususnya dibagian *cabinets*, loker dan *bulkhead* seperti pada kendaraan Formula-1 karena memiliki performa yang baik jika diproduksi dengan baik dan benar.

II.2.6 Chassis Mobil

Chassis dibidang otomotif adalah sebuah rangka pada kendaraan yang berfungsi menopang seluruh komponen kendaraan, dan menjadi dasar bagi sebuah kendaraan. Fungsi lain dari *chassis* adalah mentransfer beban vertikal dan *lateral*, yang disebabkan oleh beban muatan pada kendaraan yang kemudian diteruskan ke suspensi dan dua sumbu roda. Berdasarkan konstruksi menempelnya bodi pada *chassis* dibedakan menjadi dua konstruksi kendaraan, yaitu konstruksi *composite* (terpisah) dan konstruksi *monocoque* (menyatu). Dan berikut adalah beberapa tipe dari *chassis*:

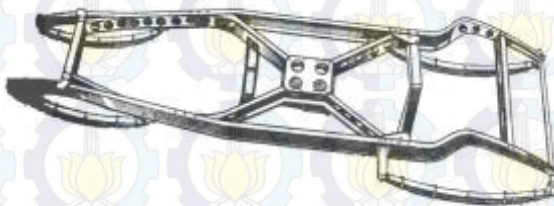
A.) Ladder Frame

Ladder frame adalah dua batangan panjang yang menyokong kendaraan dan menyediakan dukungan yang kuat dari berat beban dan umumnya berdasarkan desain angkut. Bentuk bodi ini merupakan salah satu contoh yang bagus dari tipe *chassis*. Dinamakan demikian karena kemiripannya dengan tangga, *ladder frame* adalah yang paling sederhana dan tertua dari semua desain. Ini terdiri hanya dari dua rel simetris, atau balok, dan *crossmembers* menghubungkan mereka. *Ladder frame* merupakan *chassis* paling awal yang digunakan sekitar tahun 1960-an, namun sampai sekarang masih banyak kendaraan yang menggunakan *chassis* jenis ini terutama kendaraan jenis SUV. Bahan material yang paling umum untuk jenis *ladder frame* ini adalah material dengan bahan baja ringan. Dua batang memanjang tersebut merupakan bagian yang utama untuk menahan beban longitudinal akibat percepatan dan pengereman. Kemudian batang yang melintang hanya menahan agar *chassis* tetap dalam keadaan rigid/kaku.



Gambar 2.24 *Ladder frame*[6].

Dalam hal lain untuk *chassis ladder frame* ini ada juga penambahan komponen untuk lebih menguatkan *chassis*, yaitu dengan cara penambahan penguatan palang X. Hal ini dimungkinkan untuk merancang kerangka untuk membawa beban *torsi* di mana tidak ada unsur *frame* dikenakan saat *torsi*. Palang X yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini terbuat dari dua balok lurus dan hanya akan memiliki beban lentur diterapkan pada balok. Jenis *frame* ini memiliki kekakuan torsi yang baik terbagi di pusat rancangan *frame ladder*. Perlu dicatat bahwa beban lentur maksimum terjadi pada bagian sambungannya oleh karena itu bagian sambungan (*joint*) menjadi kritis. Menggabungkan sifat dari penguatan palang X dengan *ladder frame* membantu dalam memperoleh kedua sifat baik beban lentur dan *torsi*. Dapat dilihat pada gambar 2.22 balok silang di bagian depan dan belakang tidak hanya membantu pada saat terjadi *torsi* tetapi juga membantu dalam membawa beban *lateral* dari suspensi titik pemasangan[24].



Gambar 2.25 *Ladder frame* dengan palang X[27].

B.) *Tubular Space Frame*

Merupakan salah satu jenis metode *chassis* terbaik yang kekuatan luluhnya sangat bagus di perlindungan kekakuan *torsional*, ketahanan beban berat dan beban kejut jika memiliki sambungan yang baik. *Tubular space frame* memakai berbagai macam pipa *circular* (kadang – kadang dipakai bentuk *square tube* agar mudah disambung, meskipun begitu bentuk *circular* memiliki kekuatan begitu besar). Posisinya yang berbagai arah menghasilkan kekuatan mekanikal untuk melawan gaya dari berbagai arah. Pipa tersebut dilas sehingga terbentuk struktur yang kompleks[24].



Gambar 2.26 *Tubular Space Frame*[14].

C.) *Monocoque*

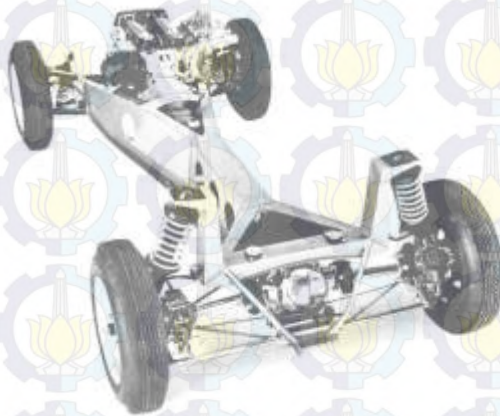
Monocoque merupakan satu kesatuan struktur *chassis* dari bentuk kendaraannya sehingga *chassis* ini memiliki bentuk yang beragam yang menyesuaikan dengan bodi mobil. Meskipun terlihat seperti satu kesatuan dari rangka dan bodi mobilnya, namun sebenarnya *chassis* ini dibuat dengan menggunakan pengelasan melalui proses otomasi sehingga hasil pengelasan yang berbentuk sempurna dan terlihat seperti tidak ada hasil pengelasan[24]. Kelemahan dari *chassis* ini adalah tidak bisa meredam getaran dengan baik, karena getaran akan tersalurkan ke bodi yang menyatu dengan *chassis*, kelebihan dari konsep ini adalah beratnya yang ringan dan dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar.



Gambar 2.27 *Monocoque chassis* pada lamborghini aventador[18].

D.) *Backbone*

Tipe ini adalah aplikasi langsung dari teori jenis rangka pipa. Ide awalnya adalah dengan membuat struktur depan dan belakangnya yang terhubung dengan sebuah rangka tube yang melintang disepanjang mobil. *Chassis backbone* ini hampir seluruhnya adalah struktur kaku dan dapat menahan semua beban. Karena begitu sempit, dindingnya umumnya dibuat tebal. *Chassis backbone* memiliki kekakuan dari luas area bagian "*backbone*" itu sendiri. Bentuk rancang bangun *chassis* jenis tipe ini adalah tetap dengan mengandalkan *backbone* tetapi dengan menambahkan struktur tambahan untuk lebih mengukuhkan *backbone* itu sendiri[24].



Gambar 2.28 *Backbone chassis*[17].

II.2.7 Pembebanan Pada Mobil

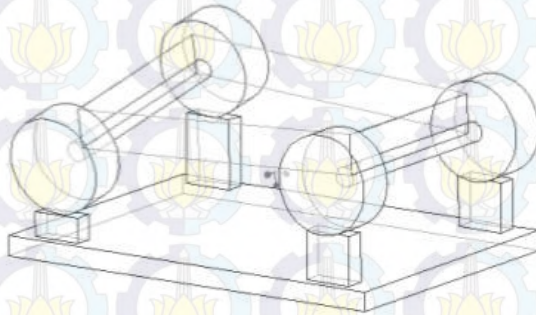
Dalam merancang sebuah kendaraan sangatlah penting untuk mengetahui beban - beban apa saja yang akan terjadi pada kendaraan. Beban yang terjadi pada kendaraan dibedakan menjadi dua bagian, yaitu kasus pembebanan global dan kasus pembebanan lokal.

II.2.7.1 Pembebanan Global

Pada kasus pembebanan global, pembebanan yang terjadi adalah pembebanan yang terjadi pada keseluruhan chassis kendaraan. Jenis pembebanan yang terjadi diantaranya adalah:

A.) *Torsional Bending*

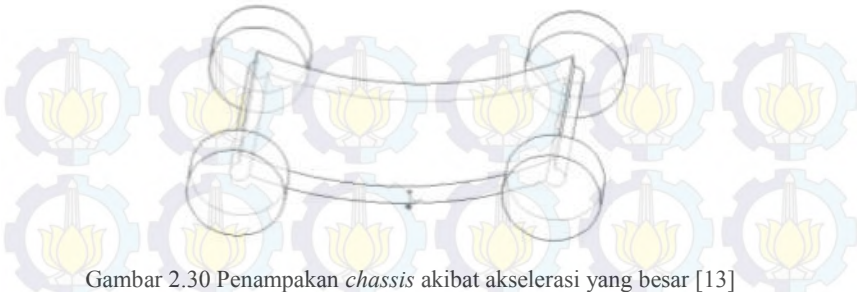
Kekakuan terhadap beban *torsi* sering dianggap sebagai pertimbangan yang paling penting selama pembuatan *chassis*. Beban *torsi* akan mencoba memutar salah satu ujung *chassis* dan salah satu ujung lainnya ditahan. Peran suspensi sangat berpengaruh disini, karena suspensi harus dapat memastikan seluruh ban harus tetap menempel pada tanah. Pada kenyataannya beban *torsi* muncul dalam kasus yang berbeda - beda, kasus yang paling umum adalah dengan memberi gaya pada salah satu ban dan tiga ban lainnya tetap menempel pada tanah. Kasus pembebanan ini adalah cara standar dalam mengukur kekakuan *chassis* baik secara realita atau simulasi komputer. [13]



Gambar 2.29 Reaksi chassis ketika beban *torsi* diberikan [13]

B.) *Vertikal Bending*

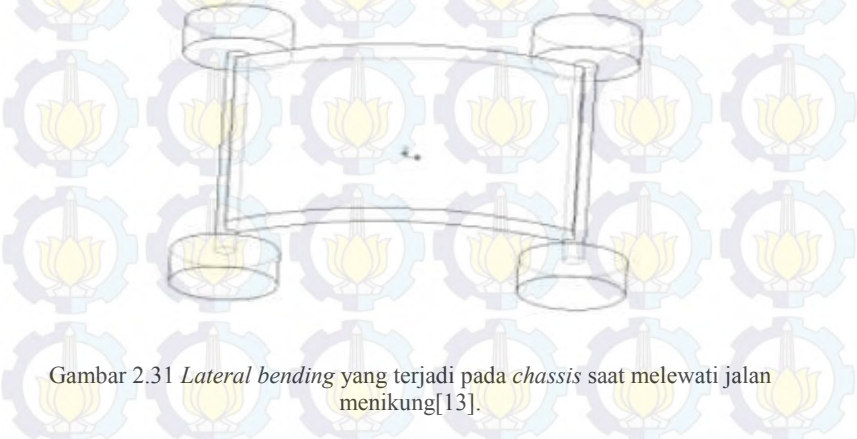
Chassis kendaraan akan mengalami deformasi tekuk akibat transfer beban *longitudinal* yang terjadi selama perubahan kecepatan yang tiba-tiba. Selama percepatan bagian depan mobil naik sehingga menyebabkan bagian tengah turun. Fenomena yang lainnya adalah saat proses pengereman, dimana beban akan ditransfer dari pusat ke bagian depan dan menyebabkan deformasi di bagian tengah naik. Untuk mengurangi perilaku ini dapat menggunakan *anti-squat suspension linkage*. Ketika merancang *chassis*, deformasi akibat gaya vertikal bukanlah prioritas utama yang harus dipertimbangkan, karena dengan memiliki kekakuan akibat beban *torsi* yang baik sudah memiliki kekakuan lentur yang memadai. [13]



Gambar 2.30 Penampakan *chassis* akibat akselerasi yang besar [13]

C.) *Lateral Bending*

Lateral bending biasanya diakibatkan oleh gaya *sentrifugal* yang terjadi saat melewati jalan menikung. Gaya *lateral* cenderung membuat mobil keluar dari sudut jalur. Ketika menikung, ban mobil mengikuti dari bentuk jalan, sehingga menimbulkan *torsi* yang dapat mentransfer beberapa beban dari bagian dalam ke bagian luar ban[13].

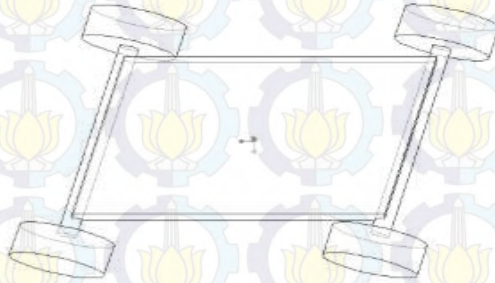


Gambar 2.31 *Lateral bending* yang terjadi pada *chassis* saat melewati jalan menikung[13].

D.) *Horizontal Lozenging*

Horizontal Lozenging terjadi akibat salah satu sisi kendaraan tidak memiliki *traksi* yang baik dari sisi lain. Sehingga fenomena yang terjadi adalah salah satu sisi tidak dapat mengatasi beban horizontal dengan baik dan menyebabkan penegangan pada *chassis* dan berdeformasi membentuk *jajar genjang*. Kasus ini biasanya terjadi saat

pengereman yang dimana salah satu ban terkunci dan meluncur, sedangkan tiga ban lainnya terus bergulir. Biasanya horizontal *lozenging* kurang begitu diperhatikan saat mendesain *chassis* dibandingkan dengan *torsional bending* dan vertikal *bending*[13].



Gambar 2.32 Horizontal *lozenging*[13]

II.2.7.2 Pembebanan Lokal

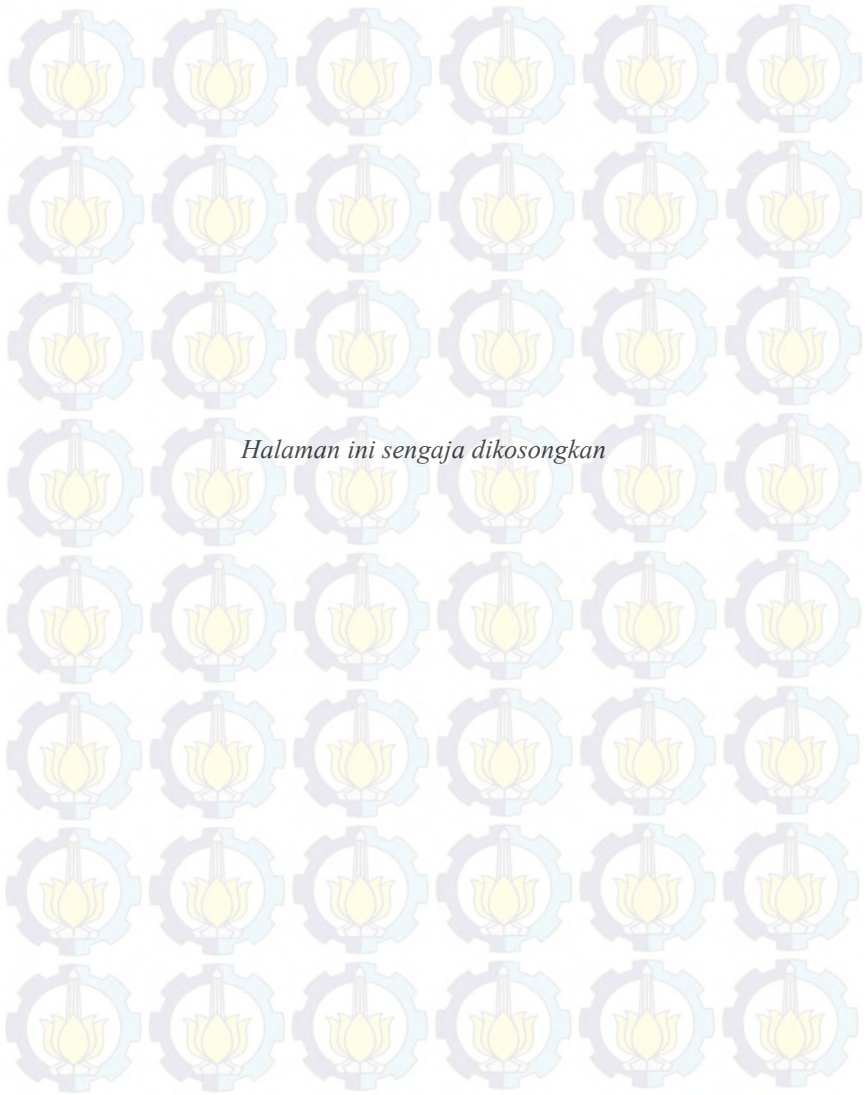
Pembebanan lokal adalah pembebanan yang terjadi dibagian sambungan antara *chassis* dan komponen - komponen mobil. *Chassis* akan menyerap semua beban baik dari suspensi, mesin, motor dan bagian lainnya. Sehingga perlu diperhatikan bagian sambungan antara suspensi, mesin, motor dan komponen lainnya yang menempel pada *chassis*, karena bagian tersebut terdapat gaya-gaya lokal yang bisa menjadi daerah kritis dari rancangan *chassis*[13].

II.2.8 Torsional Stiffness Mobil

Angka kekakuan dari masing-masing mobil berbeda-beda dan tidak ada standar yang membatasi akan nilai minium dari kekakuan sebuah mobil. Hal tersebut dikarenakan pada masing-masing mobil memiliki dimensi, beban dan jenis material yang berbeda-beda.

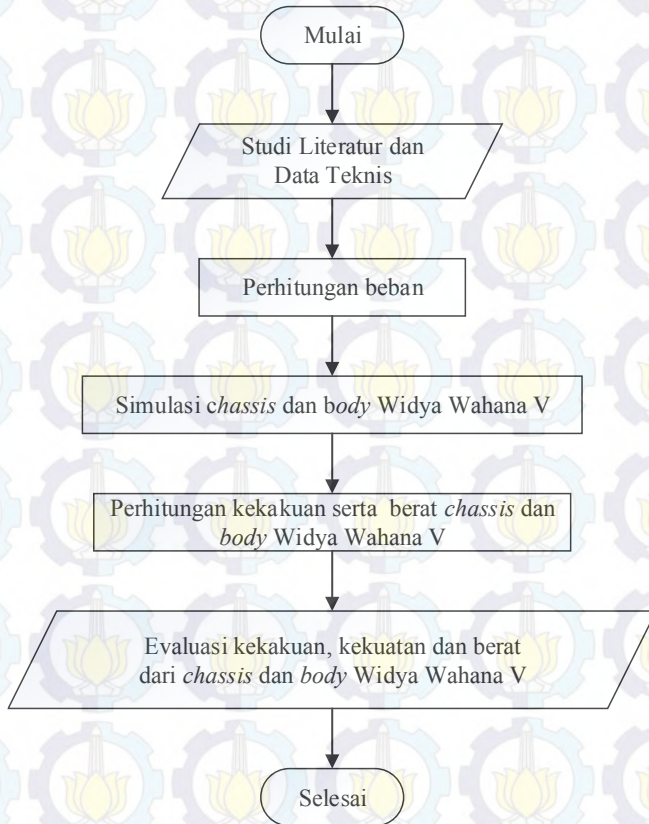
Tabel 2.5 Hasil pengujian kekakuan *chassis* beberapa jenis mobil [30]

No	Jenis Kendaraan	<i>Torsional Stiffness</i> (Nm/deg)
1	Bugatti EB110	19.000
2	BMW E46 Sedan	18.000
3	Lotus Elise	10.000
4	Audi TT Coupe	19.000
5	Ford GT40	17.000



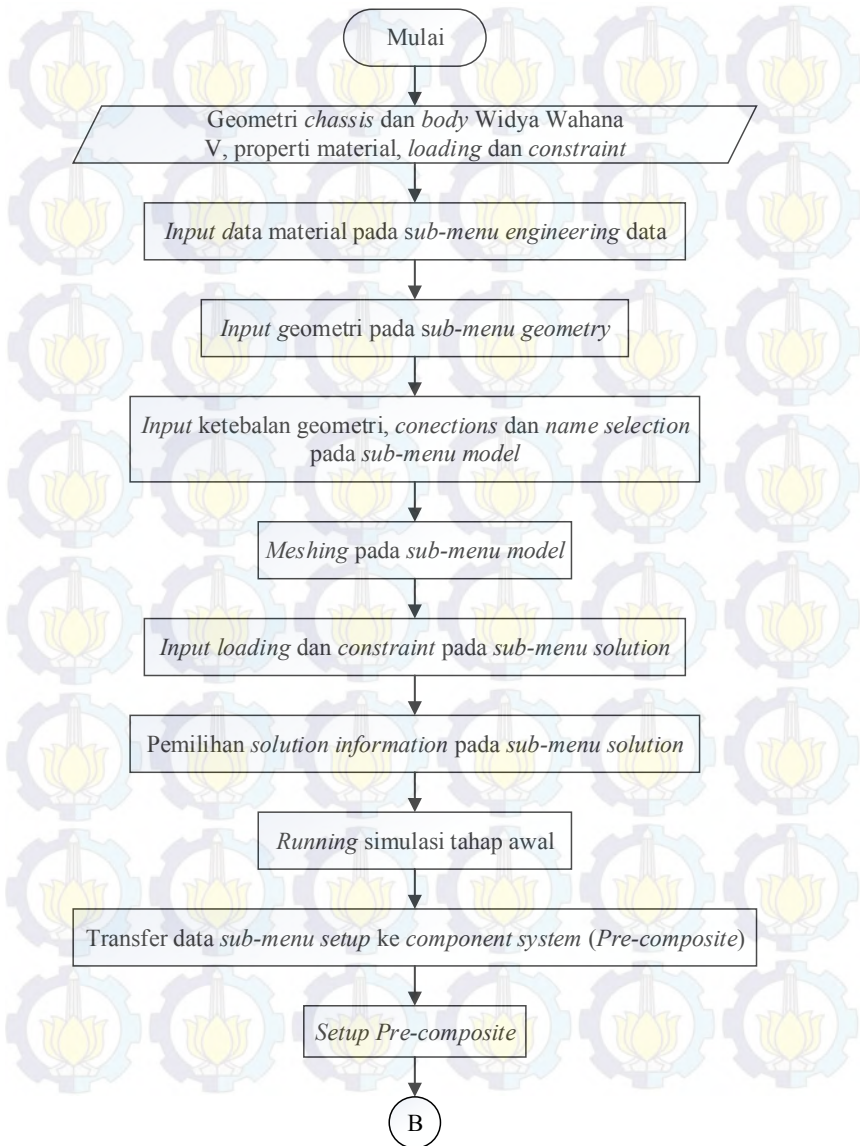
BAB III METODE PENELITIAN

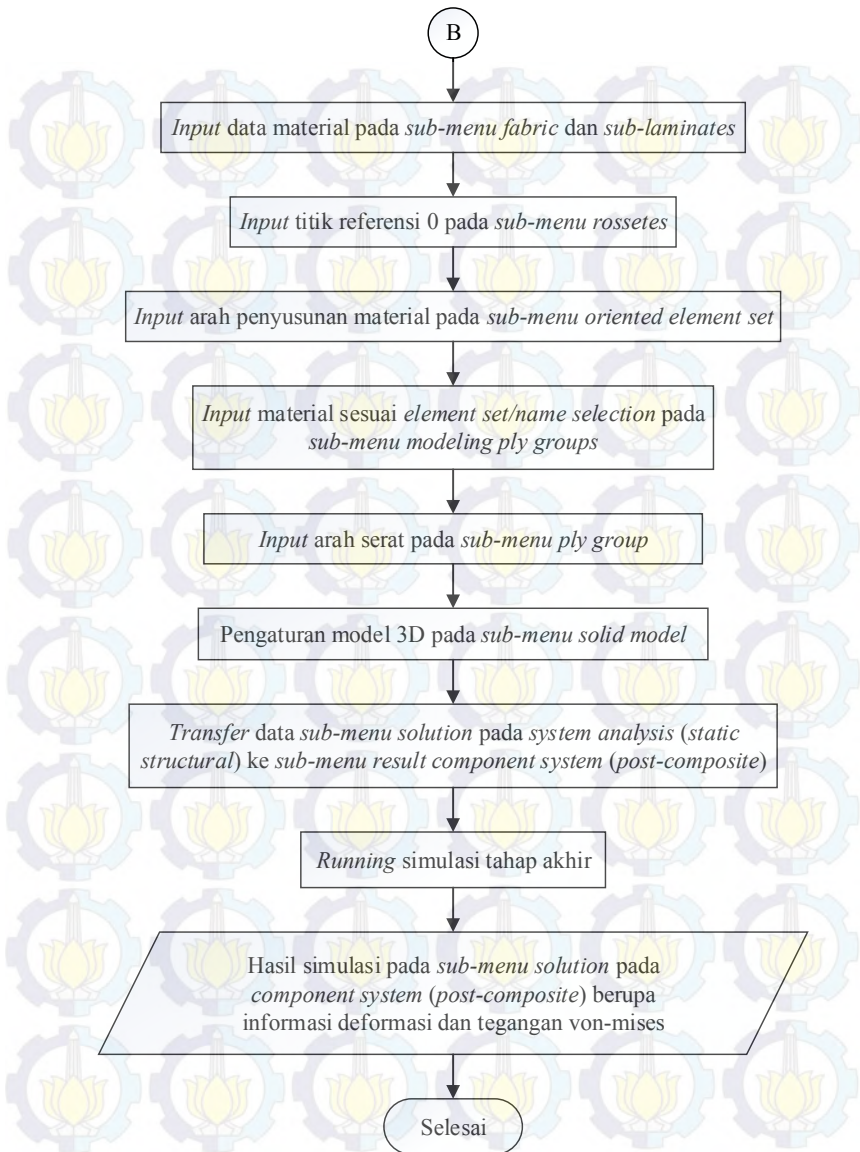
III.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian

III.2 Diagram Alir Simulasi *Chassis* dan *Body* Widya Wahana V





Gambar 3.2 Skema diagram alir simulasi *chassis* dan *body* Widya Wahana V

III.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui dasar teori mengenai informasi yang berkaitan dengan penelitian. Dasar teori berkaitan dengan :

1. Komposit

Dasar teori mengenai definisi komposit, komponen-komponen penyusunnya yaitu matriks, penguat dan material intiserta penjelasan secara detail untuk aspek tertentu yang berkaitan dengan penelitian.

2. Chassis

Penjelasan mengenai jenis-jenis *chassis* dan jenis-jenis pembebanan yang terjadi pada mobil.

Kajian pustaka berisi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang berkaitan dengan *chassis* kendaraan. Khususnya pengujian untuk meninjau kemampuan material *chassis* kendaraan berbahan komposit dengan variasi tebal material inti dan variasi *layer* pada *skin* untuk menerima beban *bending* jika dibandingkan dengan material lain yang sudah ada.

III.4 Material Widya Wahana V

Material untuk pembuatan Widya Wahana V adalah *epoxy* resin sebagai *matriks*, *fiber carbon woven twill 3k X 3k* sebagai *skin*, *nomex honeycomb* dan aluminium *honeycomb* sebagai material inti. Sedangkan material yang digunakan untuk mencari arah serat optimal adalah *epoxy resin* sebagai *matriks* dengan *fiber carbon woven twill 3k X 3k* sebagai penguat. Adapun material tambahan berupa *polycarbonate* (PC) yang berfungsi sebagai pengganti kaca Widya Wahana V, *lantorsoric XF* yang berfungsi sebagai material inti pada kursi, *ethylene vinyl acetate* (EVA) yang berfungsi sebagai material *template* peletakkan panel surya, *polyurethane* yang berfungsi sebagai material penguat kursi dan lem *epoxy*.

Tabel 3.1 Properti *epoxy* resin[8].

Density (Kg/m ³)	Tensile Modulus (Gpa)	Tensile Strength (Mpa)
1200	3,78	54,6

Tabel 3.2 Properti *fiber carbon woven twill 3k X 3k*[8].

Density	1251	Kg/m ³ -3
Young's Modulus X Direction	59160	Mpa

Young's Modulus Y Direction	59160	Mpa
Young's Modulus Z Direction	7500	Mpa
Poisson's Ratio XY	0,04	
Poisson's Ratio YZ	0,3	
Poisson's Ratio XZ	0,3	
Shear Modulus XY	17500	Mpa
Shear Modulus YZ	2700	Mpa
Shear Modulus XZ	2700	Mpa
Tensile X Direction	513	Mpa
Tensile Y Direction	513	Mpa
Tensile Z Direction	50	Mpa
Compressive X Direction	-437	Mpa
Compressive Y Direction	-437	Mpa
Compressive Z Direction	-150	Mpa
Shear XY	120	Mpa
Shear YZ	55	Mpa
Shear XZ	55	Mpa

Tabel 3.3 Properti *nomex honeycomb* 2 mm[7,8].

Density	29	Kg/m ⁻³
Young's Modulus X Direction	1	Mpa
Young's Modulus Y Direction	1	Mpa
Young's Modulus Z Direction	255	Mpa
Poisson's Ratio XY	0,49	
Poisson's Ratio YZ	0,001	
Poisson's Ratio XZ	0,001	
Shear Modulus XY	1	Pa
Shear Modulus YZ	37	Mpa
Shear Modulus XZ	70	Mpa
Tensile X Direction	0	Mpa
Tensile Y Direction	0	Mpa
Tensile Z Direction	0,90321	Mpa
Compressive X Direction	0	Mpa
Compressive Y Direction	0	Mpa
Compressive Z Direction	-0,90321	Mpa
Shear XY	0	Mpa
Shear YZ	0,49987	Mpa

Shear XZ	0,35025	Mpa
----------	---------	-----

Tabel 3.4 Properti aluminium *honeycomb* 10 mm dan 20 mm[7,8].

Density	83,3	Kg/m ⁻³
Young's Modulus X Direction	18,9	Mpa
Young's Modulus Y Direction	18,9	Mpa
Young's Modulus Z Direction	1890	Mpa
Poisson's Ratio XY	0,065	
Poisson's Ratio YZ	0,065	
Poisson's Ratio XZ	0,01	
Shear Modulus XY	2,96	Mpa
Shear Modulus YZ	369	Mpa
Shear Modulus XZ	217	Mpa
Tensile X Direction	0	Mpa
Tensile Y Direction	0	Mpa
Tensile Z Direction	4,5161	Mpa
Compressive X Direction	0	Mpa
Compressive Y Direction	0	Mpa
Compressive Z Direction	-4,5161	Mpa
Shear XY	0	Mpa
Shear YZ	2,4821	Mpa
Shear XZ	1,4479	Mpa

Tabel 3.5 Properti *polycarbonate*[3,12].

Density	1210	Kg/m ⁻³
Young's Modulus	2400	Mpa
Poisson's Ratio	0,37	
Tensile Yield Strength	65	Mpa
Tensile Ultimate Strength	72,4	Mpa

Tabel 3.6 Properti *ethylene vinyl acetate*[1,3].

Density	955	Kg/m ⁻³
Young's Modulus	40	Mpa
Poisson's Ratio	0,499	
Tensile Yield Strength	18	Mpa
Tensile Ultimate Strength	20	Mpa

Tabel 3.7 Properti *lantorsoric XF*[29].

Density	600	Kg/m ⁻³
Young's Modulus	91	Mpa
Poisson's Ratio	0,3	
Tensile Ultimate Strength	4	Mpa

Tabel 3.8 Properti *polyurethane*[3].

Density	36	Kg/m ⁻³
Young's Modulus	23	Mpa
Poisson's Ratio	0,3	
Tensile Yield Strength	0,3	Mpa
Tensile Ultimate Strength	0,45	Mpa

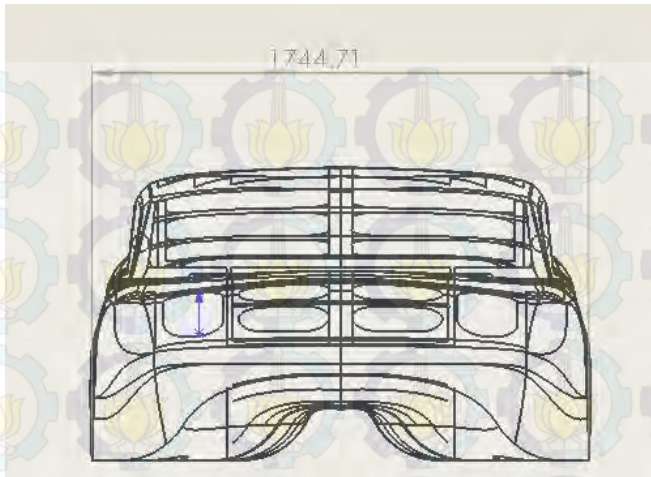
Tabel 3.9 Properti lem *epoxy*[28].

Density (Kg/m ³)	Peel strength (Mpa)
1140	1,05

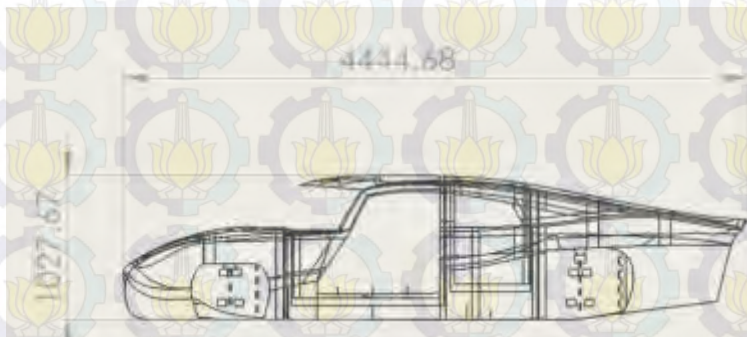
III.5 Desain Widya Wahana V

Desain Widya Wahana V disesuaikan dengan standar dimensi yang ditentukan oleh panitia *World Solar Challenge* 2015. Dalam regulasi teknis *World Solar Challenge* 2015 dimensi kendaraan untuk kelas *cruiser* yaitu, panjang kendaraan tidak lebih dari 4500 mm, lebar kendaraan tidak lebih dari 1800 mm dan tinggi kendaraan tidak lebih dari 2200 mm dari permukaan tanah.

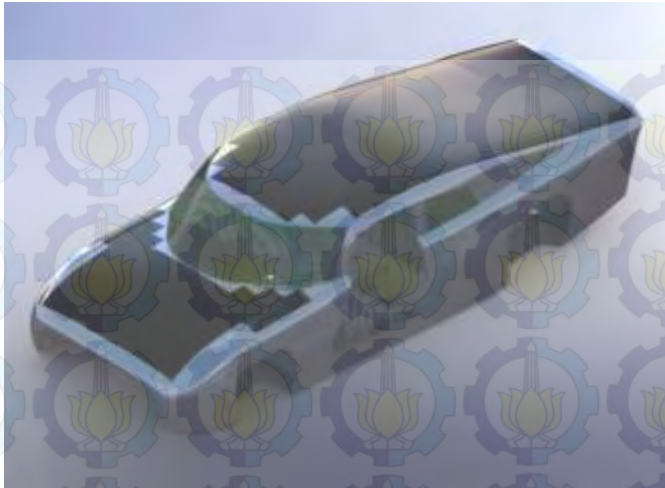
Widya Wahana V terdiri dari 3 bagian, *body* atas, *body* bawah dan *chassis*. Dimensi Widya Wahana V memiliki panjang 4444,68 mm, lebar 1744,71 mm dan tinggi 1027,67 mm. *Chassis* Widya Wahana V menggunakan jenis *ladder*, dimana pembebanan utama diterima oleh *chassis ladder* dan bagian *body* hanya digunakan sebagai kulit luar dan sedikit membantu menopang beban pada *body* bagian bawah.



Gambar 3.3 Dimensi lebar Widya Wahana V.



Gambar 3.4 Dimensi panjang dan tinggi Widya Wahana V.



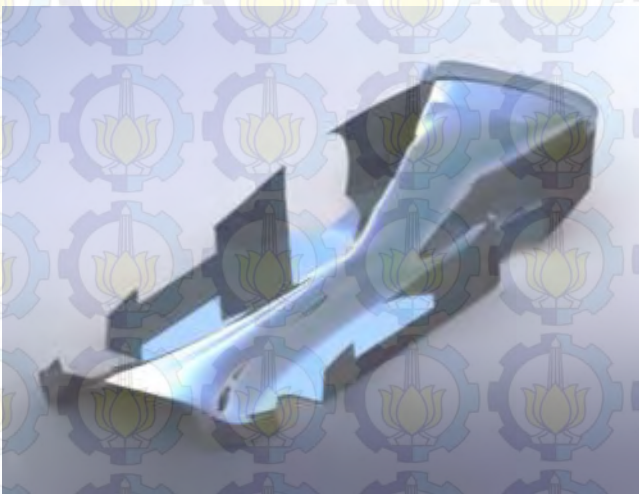
Gambar 3.5 *Body dan chassis* Widya Wahana V.



Gambar 3.6 *Body atas* Widya Wahana V.



Gambar 3.7 *Chassis* Widya Wahana V.



Gambar 3.8 *Body* bawah Widya Wahana V.

III.6 Perhitungan Pembebanan.

III.6.1 Beban Vertikal

Beban vertikal dipengaruhi oleh massa yang bekerja pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V, diantaranya yaitu:

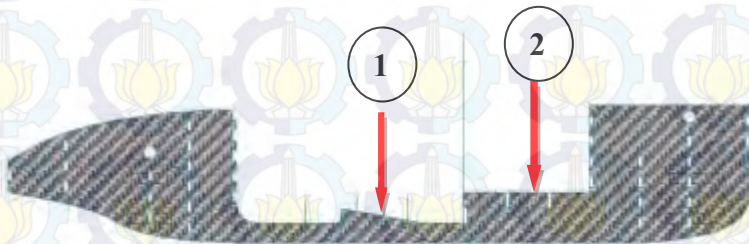
Tabel 3.10 Pembebanan vertikal

No.	Nama Beban	Massa (Kg)	Berat (N)
1	Pengemudi	100	981
2	Penumpang	100	981
3	Baterai	70,436	690,978
4	Baterai Box	1,933	18,963
5	<i>Controller</i>	2,919	28,635
6	BMS	2,812	27,586
7	<i>System Box</i>	4,367	45,492
8	<i>Charger</i> Baterai	2,312	22,68
9	Kursi	1,175	11,527

Dengan asumsi percepatan gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$.

$$W_{Sprung} = \sum m_{sprung} g \dots \dots \dots (3.1)$$

Beban - beban vertikal ini mempunyai titik tangkapnya masing - masing yang terdistribusi pada setiap mounting-nya seperti pada gambar 3.9 dan 3.10.

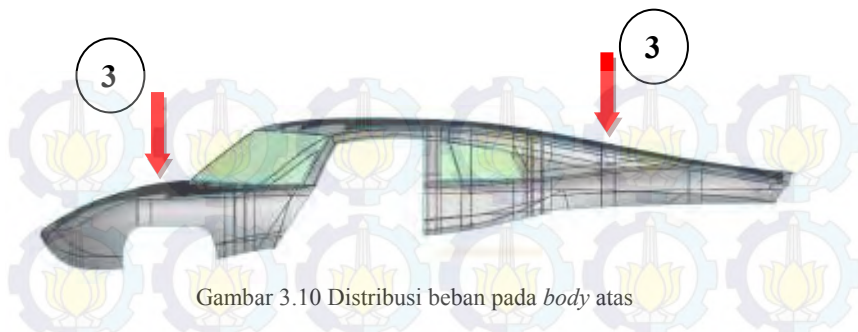


Gambar 3.9 Distribusi beban pada *chassis*

Keterangan:

1 = Beban pengemudi, penumpang dan kursi

2 = Beban baterai, box baterai, controller, BMS, system box dan charger.



Keterangan:

3 = Beban panel surya dan MPPT

III.6.2 Beban Lateral

Beban lateral pada simulasi ini adalah beban saat kendaraan berbelok, diasumsikan kendaraan berbelok ke kanan dengan kecepatan 80 km/jam atau 22,22 m/s dengan radius belok 8 meter. Beban yang terjadi saat belok adalah beban vertikal dan beban inersia.

$$\text{Beban Inersia} = m \frac{v^2}{R} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana m merupakan massa, v adalah kecepatan saat berbelok dan R adalah radius belok.

Tabel 3.11 Pembebanan akibat belok

No.	Nama Beban	Massa (Kg)	Beban Vertikal (N)	Beban Inersia (N)
1	Pengemudi	100	981	6171,6
2	Penumpang	100	981	6171,6
3	Baterai	70,436	690,978	4347,03
4	Baterai Box	1,933	18,963	119,29
5	Controller	2,919	28,635	179,98
6	BMS	2,812	27,586	173,54
7	System Box	4,367	45,492	269,51
8	Charger Baterai	2,312	22,68	142,68
9	Kursi	1,175	11,527	108

III.6.3 Beban *Torsi*

Pengujian dengan beban ini dilakukan untuk menguji kekakuan dari *chassis*. *Torsi* yang diberikan bernilai :

$$T = Fxd \dots \dots \dots (3.3)$$

T merupakan *torsi* dan F merupakan gaya yang bekerja pada suspensi depan atau belakang pada bagian samping kanan atau samping kiri dengan nilai $0,1W_{sprung}$ hingga W_{sprung} . Sedangkan d merupakan jarak tumpuan suspensi kiri atau kanan terhadap titik tengah *chassis* pada suspensi depan atau belakang.

Tabel 3.12 Pembebanan pada uji *torsional bending*

No.	Beban (x W_{sprung}) (N)
1	0.1
2	0.2
3	0.3
4	0.4
5	0.5

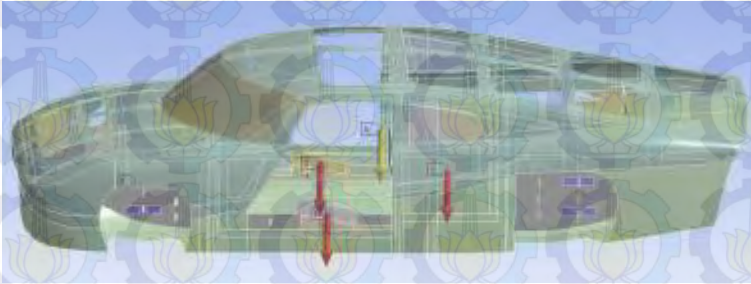
III.7 Simulasi *Chassis* dan *Body* Widya Wahana V

Simulasi pengujian dilakukan dengan software *finite element*. Simulasi menggunakan analisa *static structural* untuk komposit. Material yang dipakai adalah *epoxy resin* dengan penguat *carbon fibre* dengan penambahan material inti berupa *nomex honeycomb* dan *aluminium honeycomb*. *Boundary condition* dan *loading condition* yang diterapkan dalam simulasi ini yaitu :

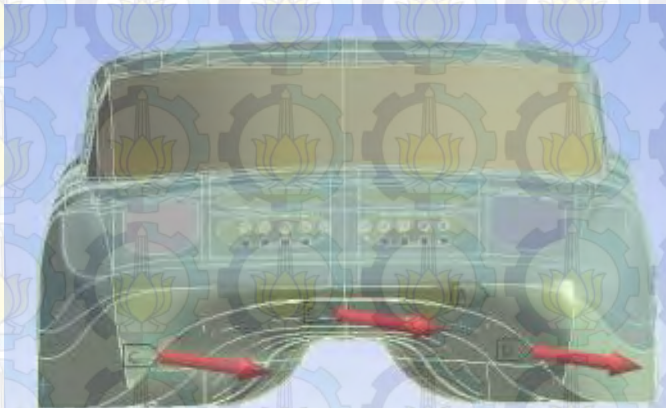
Tabel 3.13 *Boundary condition* dan *loading condition* pada desain *body* dan *chassis* Widya Wahana V

No	Test	<i>Boundary Condition</i>	<i>Loading Condition</i>
1	Vertikal <i>Bending</i>	Fix support- suspensi depan dan belakang	Gaya kearah bawah pada penempatan masing- masing beban dan beban gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)
2	<i>Lateral Bending</i>	Fix support- suspensi depan dan belakang	Gaya kearah bawah dan ke samping pada penempatan masing- masing beban

3	<i>Torsional Bending 1</i>	Fix support- suspensi belakang	2 gaya berlawanan arah pada suspensi depan
4	<i>Torsional Bending 2</i>	Fix support- suspensi depan	2 gaya berlawanan arah pada suspensi belakang



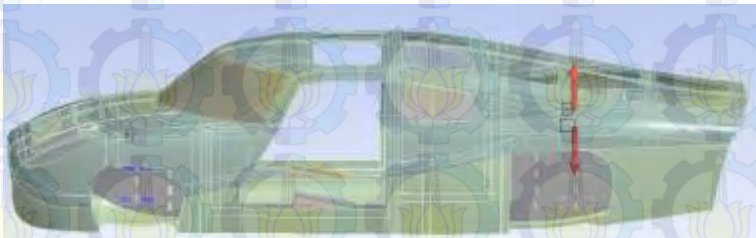
Gambar 3.11 *Boundary condition* dan *loading condition* saat dikenai beban vertikal *bending*



Gambar 3.12 *Boundary condition* dan *loading condition* saat dikenai beban lateral *bending*



Gambar 3.13 *Boundary condition* dan *loading condition* saat dikenai beban *torsional bending 1*



Gambar 3.14 *Boundary condition* dan *loading condition* saat dikenai beban *torsional bending 2*

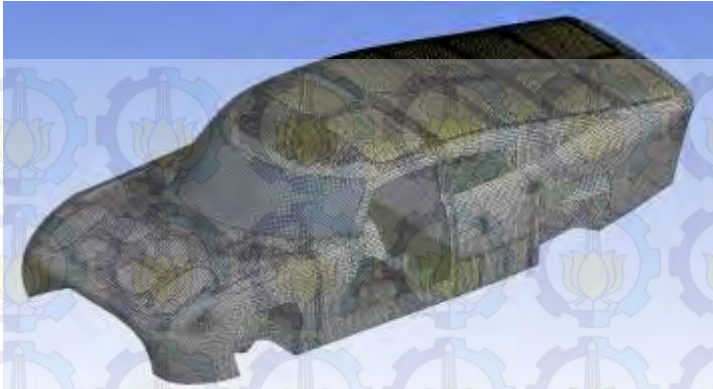
Simulasi terdiri dari beberapa tahap yaitu :

1.) Proses penentuan geometri benda

Geometri benda yang telah di desain menggunakan software gambar 3D di *import* ke dalam *software finite element*. Untuk kasus simulasi komposit dengan *fiber* sebagai penguat ditambah dengan *core*, geometri harus dalam bentuk *surface* untuk memudahkan proses penyusunan material.

2.) Proses *Modelling*

Proses ini terdiri dari pengaturan ketebalan geometri, *meshing*, *connections*, penentuan daerah peletakkan material dan pengaturan kondisi yang diinginkan. Pengaturan kondisi untuk *static structural* dilakukan dengan menentukan daerah *fix support* dan memberikan pembebanan yang diinginkan berupa besaran angka dan arah pembebanan.

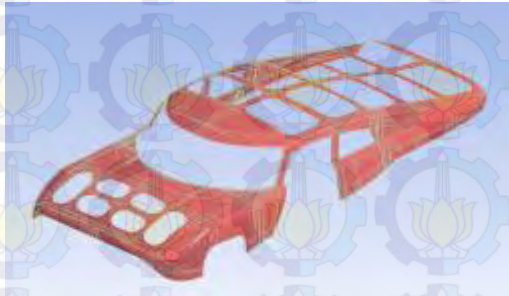


Gambar 3.15 *Meshing* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V

3.) Proses Pengaturan dan Peletakkan Material

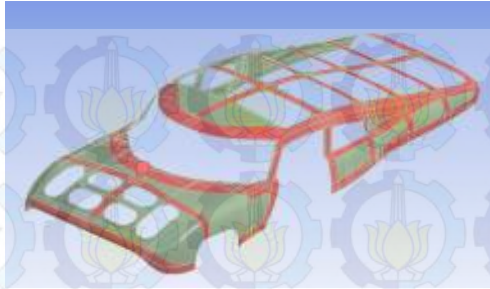
Proses ini terdiri dari memasukkan data properti material, pengaturan titik referensi 0, pengaturan arah penyusunan material, mengatur ketebalan dan arah serat *lamina*, mengatur jumlah layer dan arah serat pada *laminat*, mengatur daerah peletakkan *laminat* dan terakhir memodelkannya dalam bentuk 3D. *Layout* peletakkan material diantaranya adalah:

a) *Layout 1*



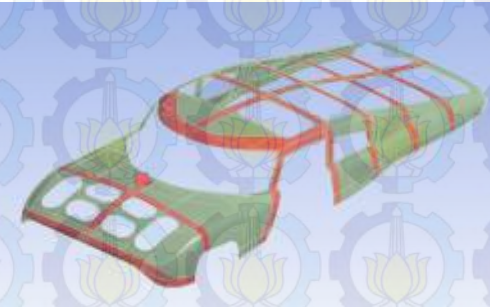
Gambar 3.16 *Layout 1*

b) *Layout 2*



Gambar 3.17 *Layout 2*

c) *Layout 3*



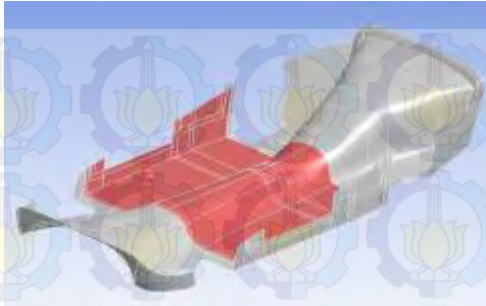
Gambar 3.18 *Layout 3*

d) *Layout 4*



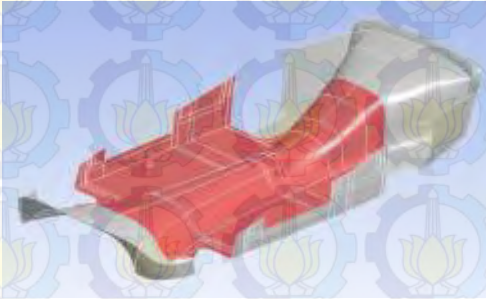
Gambar 3.19 *Layout 4*

e) *Layout 5*



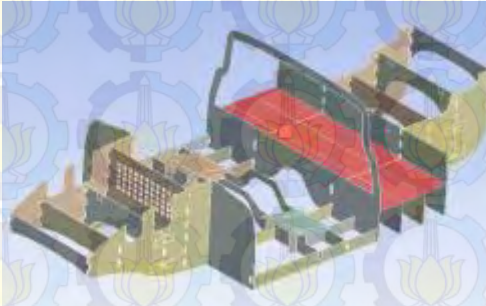
Gambar 3.20 *Layout 5*

f) *Layout 6*



Gambar 3.21 *Layout 6*

g) *Layout 7*



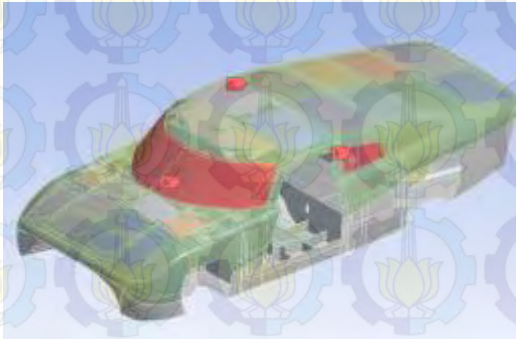
Gambar 3.22 *Layout 7*

h) *Layout 8*



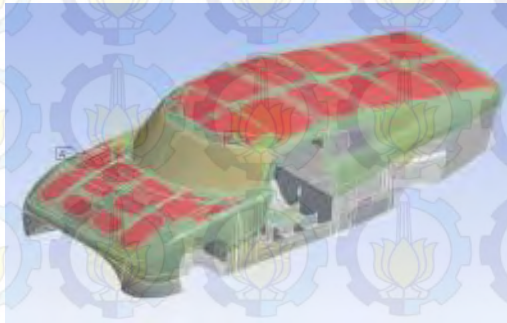
Gambar 3.23 *Layout 8*

i) *Layout 9*



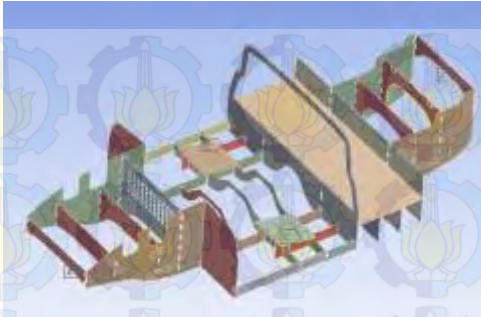
Gambar 3.24 *Layout 9*

j) *Layout 10*



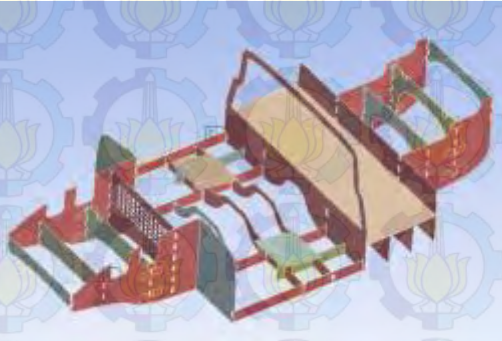
Gambar 3.25 *Layout 10*

k) *Layout 11*



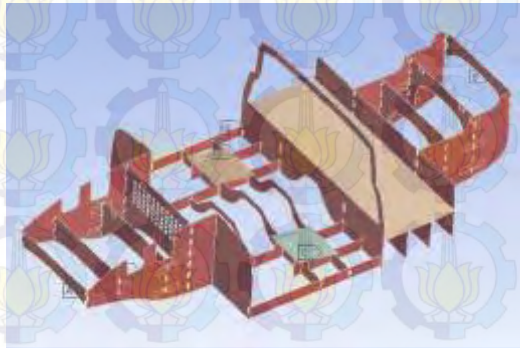
Gambar 3.26 *Layout 11*

l) *Layout 12*



Gambar 3.27 *Layout 12*

m) *Layout 13*



Gambar 3.28 *Layout 13*

Susunan peletakkan material yang diterapkan dibagi menjadi dua, yaitu susunan tetap dan susunan variasi. Susunan tetap diantaranya adalah:

- a) Penyusunan material pada *body* atas Widya Wahana V.

Tabel 3.14 Penyusunan material pada *body* atas Widya Wahana V

Layer	Material	Orientasi Sudut	Daerah Peletakkan
1	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout 1</i>
2	<i>Nomex honeycomb 2mm</i>	0°	<i>Layout 2</i>
3	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout 1</i>
4	Aluminium <i>honeycomb 10 mm</i>	0°	<i>Layout 3</i>
5	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout 3</i>

- b) Penyusunan material pada *body* bawah Widya Wahana V.

Tabel 3.15 Penyusunan material pada *body* bawah Widya Wahana V

Layer	Material	Orientasi Sudut	Daerah Peletakkan
1	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout 4</i>
2	<i>Nomexhoneycomb 2mm</i>	0°	<i>Layout 4</i>
3	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout 4</i>
4	Aluminium <i>honeycomb 10 mm</i>	0°	<i>Layout 5</i>
5	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout 5</i>
6	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout 6</i>

- c) Penyusunan material pada penyangga baterai Widya Wahana V.

Tabel 3.16 Penyusunan material pada penyangga baterai Widya Wahana V

Layer	Material	Orientasi Sudut	Daerah Peletakkan
1	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout 7</i>
2	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout 7</i>
3	Aluminium <i>honeycomb 20 mm</i>	0°	<i>Layout 7</i>

4	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout 7</i>
5	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout 7</i>

- d) Penyusunan material pada kursi Widya Wahana V.

Tabel 3.17 Penyusunan material pada kursi Widya Wahana V

Layer	Material	Orientasi Sudut	Daerah Peletakkan
1	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout 8</i>
2	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout 8</i>
3	<i>Lantorsoric XF 2 mm</i>	0°	<i>Layout 8</i>
4	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout 8</i>
5	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout 8</i>
6	<i>Polyurethane</i>	0°	<i>Layout 8</i>
7	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout 8</i>

- e) Penyusunan material pada daerah kaca Widya Wahana V.

Tabel 3.18 Penyusunan material pada daerah kaca Widya Wahana V

Layer	Material	Orientasi Sudut	Daerah Peletakkan
1	<i>Polycarbonate</i>	0°	<i>Layout9</i>

- f) Penyusunan material pada daerah panel surya Widya Wahana V.

Tabel 3.19 Penyusunan material pada daerah panel surya Widya Wahana V

Layer	Material	Orientasi Sudut	Daerah Peletakkan
1	<i>EVA Film</i>	0°	<i>Layout10</i>

Susunan variasi diantaranya adalah:

- a) Penyusunan material pada *chassis* tipe 1 Widya Wahana V.

Tabel 3.20 Penyusunan material pada *chassis* tipe 1 Widya Wahana V

Layer	Material	Orientasi Sudut	Daerah Peletakkan
1	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout 11</i>
2	Aluminium <i>honeycomb 10 mm</i>	0°	<i>Layout 11</i>
3	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout 11</i>

1	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout 12</i>
2	Aluminium <i>honeycomb 20 mm</i>	0°	<i>Layout 12</i>
3	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout 12</i>

- b) Penyusunan material pada *chassis* tipe 2 Widya Wahana V.
Tabel 3.21 Penyusunan material pada *chassis* tipe 2 Widya Wahana V

Layer	Material	Orientasi Sudut	Daerah Peletakkan
1	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout13</i>
2	Aluminium <i>honeycomb 20 mm</i>	0°	<i>Layout13</i>
3	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout13</i>

- c) Penyusunan material pada *chassis* tipe 3 Widya Wahana V.
Tabel 3.22 Penyusunan material pada *chassis* tipe 3 Widya Wahana V

Layer	Material	Orientasi Sudut	Daerah Peletakkan
1	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout11</i>
2	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout11</i>
3	Aluminium <i>honeycomb 10 mm</i>	0°	<i>Layout11</i>
4	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout11</i>
5	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout11</i>
1	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout12</i>
2	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout12</i>
3	Aluminium <i>honeycomb 20 mm</i>	0°	<i>Layout12</i>
4	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout12</i>
5	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout12</i>

- d) Penyusunan material pada *chassis* tipe 4 Widya Wahana V.
Tabel 3.23 Penyusunan material pada *chassis* tipe 4 Widya Wahana V

Layer	Material	Orientasi Sudut	Daerah Peletakkan
1	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout13</i>
2	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout13</i>

3	Aluminium <i>honeycomb</i> 20 mm	0°	<i>Layout13</i>
4	<i>Carbon fibre</i>	45°	<i>Layout13</i>
5	<i>Carbon fibre</i>	-45°	<i>Layout13</i>

4.) Proses *Running* dan Hasil Simulasi.

Proses pemilihan data yang akan dihasilkan. Untuk simulasi ini dipilih tegangan maksimal yang terjadi (*Von Mises Equivalent Stress*) dan deformasi total. Proses simulasi dilakukan dengan melakukan *solve* untuk pengkondisian yang sudah ditetapkan. Dibawah ini adalah skema dari simulasi *static structural* untuk material komposit dengan *fiber* sebagai penguat dan tambahan *core*.



Gambar 3.29 Skema simulasi *static structural* untuk Komposit

III.8 Variasi Model Widya Wahana V.

Ada 4 variasi model yang ditetapkan, penetapan model berdasarkan batasan berat yang diijinkan dan dimensi material yang sesuai serta dapat dilakukan proses produksi.

Tabel 3.24 Rincian Variasi Model Widya Wahana V

Model	Komponen Penyusun	
1	Seluruh Komponen susunan tetap	<i>Chassis</i> tipe 1
2	Seluruh Komponen susunan tetap	<i>Chassis</i> tipe 2
3	Seluruh Komponen susunan tetap	<i>Chassis</i> tipe 3
4	Seluruh Komponen susunan tetap	<i>Chassis</i> tipe 4

III.9 Analisa Data

Dari hasil simulasi berupa distribusi tegangan dan nilai deformasi total yang akan dianalisa apakah nilai tegangan berada

dibawah tegangan *yield*-nya (aman digunakan). Analisa dilakukan dengan melihat daerah kritis pada saat deformasi maksimal dan tegangan maksimal serta berat yang dihasilkan. Rumus perhitungan *torsional stiffness* melalui simulasi yaitu:

$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{F \cdot B}{(\theta_d + \theta_p)} \dots \dots \dots (3.4)$$

$$\theta_d = \tan^{-1} \left(\frac{V_d}{B/2} \right) \dots \dots \dots (3.5)$$

$$\theta_p = \tan^{-1} \left(\frac{V_p}{B/2} \right) \dots \dots \dots (3.6)$$

Dimana =

K: *Torsional Stiffness* (Nm/deg)

T: *Torsi* (Nm)

F: *Vertikal Force* (N)

B: *Track Width* (m)

θ_d : Defleksi sudut pengemudi (deg)

θ_p : Defleksi sudut penumpang (deg)

V_d : Defleksi vertikal pengemudi (m)

V_p : Defleksi vertikal penumpang (m)



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

IV.1 Data Spesifikasi *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V

Tabel 4.1 Rincian berat *body* Widya Wahana V

Material	Density (Kg/m ³)	Luas Permukaan (m ²)	Tebal (m)	Berat (Kg)
<i>Carbon fiber +Epoxy</i>	1251	46,80824	0.0003	17,566
Nomex HC 2 mm	29	14.009	0.002	0.812
Aluminium HC 10 mm	83.3	6.462	0.01	5,383
Lem epoxy	1140	12,924	0.0006	8.838
Polycarbonate	1210	0,97	0.002	2,347
EVA Film	955	5,046	0.0015	7,22
TOTAL				42,166

Tabel 4.2 Rincian berat *chassis* Widya Wahana V (Tipe 1)

Material	Density (kg/m ³)	Luas Permukaan (m ²)	Tebal (m)	Berat (kg)
<i>Carbon fiber +Epoxy</i>	1251	18,41924	0,0003	6,912
Aluminium HC 10 mm	83,3	1,71272	0,01	1,426
Aluminium HC 20 mm	83,3	6,43321	0,02	10,717
Lem epoxy	1140	16,29186	0,0006	11,143
TOTAL				30.198

Tabel 4.3 Rincian berat *chassis* Widya Wahana V (Tipe 2)

Material	Density (kg/m ³)	Luas Permukaan (m ²)	Tebal (m)	Berat (kg)
<i>Carbon fiber +Epoxy</i>	1251	18,41924	0,0003	6,912
Aluminium HC 10 mm	83,3	0	0,01	0
Aluminium HC 20 mm	83,3	8,14593	0,02	13,571
Lem epoxy	1140	16,29186	0,0006	11,143
TOTAL				31,626

Tabel 4.4 Rincian berat *chassis* Widya Wahana V (Tipe 3)

Material	Density (kg/m ³)	Luas Permukaan (m ²)	Tebal (m)	Berat (kg)
<i>Carbon fiber +Epoxy</i>	1251	32,58372	0,0003	12,228
Aluminium HC 10 mm	83,3	1,71272	0,01	1,426
Aluminium HC 20 mm	83,3	6,43321	0,02	10,717
Lem epoxy	1140	16,29186	0,0006	11,143
TOTAL				35,514

Tabel 4.5 Rincian berat *chassis* Widya Wahana V (Tipe 4)

Material	Density (kg/m ³)	Luas Permukaan (m ²)	Tebal (m)	Berat (kg)
<i>Carbon fiber +Epoxy</i>	1251	32,58372	0,0003	12,228
Aluminium HC 10 mm	83,3	0	0,01	0
Aluminium HC 20 mm	83,3	8,14593	0,02	13,571
Lem epoxy	1140	16,29186	0,0006	11,143
TOTAL				36,942

Table 4.6 Berat Total *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V

Model	Berat <i>Body</i> (Kg)	Berat <i>Chassis</i> (Kg)	Berat Total (Kg)
1	42,166	30,198	72,364
2	42,166	31,626	73,792
3	42,166	35,514	77,68
4	42,166	36,942	79,108

Tabel 4.7 Nilai Tegangan *Von-Misses* Maksimal untuk *Vertikal Bending*

Model	Tegangan <i>Von-Misses</i> Maksimal (Mpa)
1	28,653
2	28,605
3	20,926
4	20,918

Tabel 4.8 Nilai Deformasi Maksimal untuk *Vertikal Bending*

Model	Deformasi Maksimal (mm)	
	<i>Body</i>	<i>Chassis</i>
1	3,5303	0,26862
2	3,5255	0,26853
3	3,4685	0,20679
4	3,4628	0,2053

Tabel 4.9 Nilai Tegangan *Von-Misses* Maksimal untuk *Lateral Bending*

Model	Tegangan <i>Von-Misses</i> Maksimal (Mpa)
1	95,995
2	94,202
3	55,052
4	54,677

Tabel 4.10 Nilai Deformasi Maksimal untuk *Lateral Bending*

Model	Deformasi Maksimal (mm)	
	<i>Body</i>	<i>Chassis</i>
1	0,61325	0,52683
2	0,60165	0,41374
3	0,45899	0,40242
4	0,45149	0,40055

Tabel 4.11 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Depan (Model 1)

F (N)	B (m)	T (Nm)	ΔY_d (mm)	ΔY_p (mm)	Θ (deg)
187.23	0.5007	93.74	0,039293	0,038438	0,0088
374.46	0.5007	187.49	0,078586	0,076875	0,0177
561.69	0.5007	281.23	0,11788	0,11531	0,0266
748.92	0.5007	374.98	0,15717	0,15375	0,0355
936.15	0.5007	468.73	0,19647	0,19219	0,0444

Tabel 4.12 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Depan (Model 2)

F (N)	L (m)	T (Nm)	ΔY_d (mm)	ΔY_p (mm)	Θ (deg)
187.96	0.5007	94.11	0,038124	0,037529	0,0086
375.92	0.5007	188.22	0,076248	0,075057	0,0173

563.88	0.5007	282.33	0,11437	0,11259	0,0259
751.85	0.5007	376.45	0,1525	0,15011	0,0346
939.81	0.5007	470.56	0,19062	0,18764	0,0432

Tabel 4.13 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Depan (Model 3)

F (N)	L (m)	T (Nm)	ΔY_d (mm)	ΔY_p (mm)	Θ (deg)
189.96	0.5007	95.11	0,034602	0,033726	0,0078
379.93	0.5007	190.23	0,069204	0,067452	0,0156
569.89	0.5007	285.34	0,10381	0,10118	0,0234
759.86	0.5007	380.46	0,13841	0,1349	0,0312
949.82	0.5007	475.57	0,17301	0,16863	0,039

Tabel 4.14 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Depan (Model 4)

F (N)	L (m)	T (Nm)	ΔY_d (mm)	ΔY_p (mm)	Θ (deg)
190.7	0.5007	95.48	0,032385	0,031639	0,0073
381.4	0.5007	190.96	0,064769	0,063277	0,0146
572.1	0.5007	286.45	0,097155	0,94917	0,0219
762.8	0.5007	381.93	0,12954	0,12656	0,0293
953.5	0.5007	477.41	0,16192	0,1582	0,0366

Tabel 4.15 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Belakang (Model 1)

F (N)	B (m)	T (Nm)	ΔY_d (mm)	ΔY_p (mm)	Θ (deg)
258.85	0.5007	129.60	0,041478	0,04153	0,0094
517.71	0.5007	259.21	0,082955	0,083059	0,0189
776.56	0.5007	388.82	0,12443	0,12459	0,0284
1035.42	0.5007	518.43	0,16591	0,16612	0,0379
1294.27	0.5007	648.04	0,20732	0,20758	0,0474

Tabel 4.16 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Belakang (Model 2)

F (N)	L (m)	T(Nm)	ΔY_d (mm)	ΔY_p (mm)	Θ (deg)
259.95	0.5007	130.15	0,039879	0,04005	0,0091
519.90	0.5007	260.31	0,079758	0,0801	0,0182
779.85	0.5007	390.47	0,11964	0,12015	0,0274
1039.8	0.5007	520.62	0,15952	0,1602	0,0365
1299.35	0.5007	650.58	0,19939	0,20025	0,0457

Tabel 4.17 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Belakang (Model 3)

F (N)	L (m)	T(Nm)	ΔY_d (mm)	ΔY_p (mm)	Θ (deg)
262.63	0.5007	131.50	0,03548	0,036333	0,0082
525.27	0.5007	263	0,070959	0,072667	0,0164
787.91	0.5007	394.5	0,10644	0,109	0,0246
1050.55	0.5007	526.01	0,14175	0,14516	0,0328
1313.18	0.5007	657.51	0,1774	0,18167	0,0410

Tabel 4.18 Data *Torsional Stiffness* Pembebanan Belakang (Model 4)

F (N)	L (m)	T(Nm)	ΔY_d (mm)	ΔY_p (mm)	Θ (deg)
263.65	0.5007	132.01	0,034267	0,035191	0,0079
527.30	0.5007	264.02	0,068533	0,070382	0,0158
790.95	0.5007	396.03	0,1028	0,10557	0,0238
1,053.36	0.5007	527.41	0,13707	0,14076	0,0317
1318.26	0.5007	660.05	0,17133	0,17596	0,0397

Tabel 4.19 Nilai *Torsional Stiffness* Pembebanan Depan

Model	<i>Torsional Stiffness</i> (Nm/deg)
1	10539,38
2	10871,25
3	12164,78
4	13032,88

Tabel 4.20 Nilai *Torsional Stiffness* Pembebanan Belakang

Model	<i>Torsional Stiffness</i> (Nm/deg)
1	13645,87
2	14229,51
3	16006,19
4	16605,12

Tabel 4.21 Nilai *Torsional Stiffness*/Berat Pembebanan Depan

Model	<i>Torsional Stiffness</i> /Berat [Nm/(deg*Kg)]
1	145,64
2	147,32
3	156,6
4	164,75

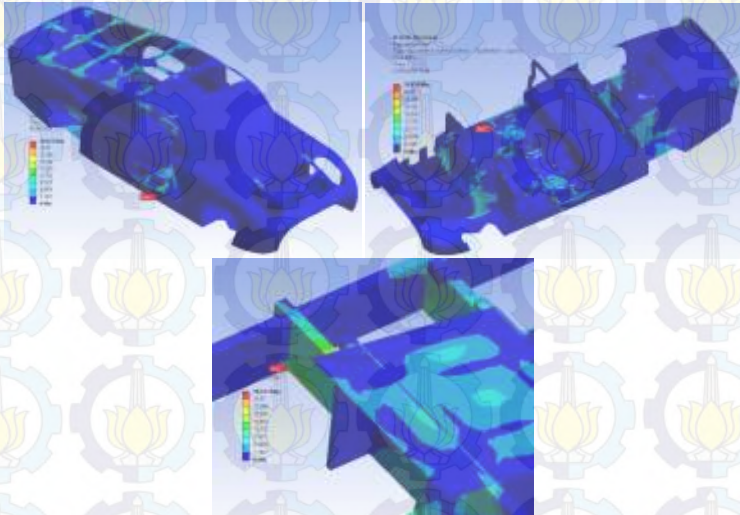
Tabel 4.22 Nilai *Torsional Stiffness*/Berat Pembebanan Belakang

Model	<i>Torsional Stiffness</i> /Berat [Nm/(deg*Kg)]
1	188,57
2	192,83
3	206,05
4	209,9

IV.2 Analisa Gambar Hasil Simulasi Vertikal *Bending*

IV.2.1 Analisa Gambar Tegangan *Von-Mises*

IV.2.1.1 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 1

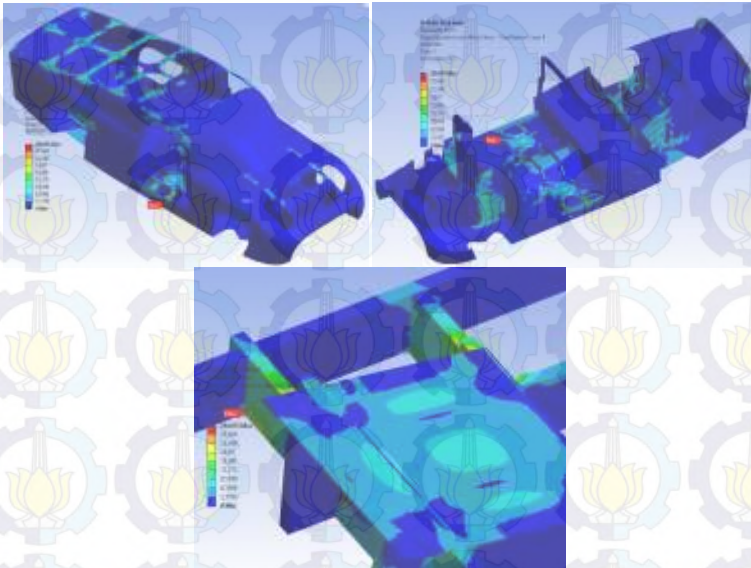


Gambar 4.1 Hasil simulasi tegangan *von-mises* akibat vertikal *bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 1

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap Widya Wahana model 1 diketahui bahwa Persebaran tegangan pada *body* berada pada daerah atas tempat peletakkan panel surya dan daerah kupingan pintu atas, sedangkan pada daerah bawah persebaran tegangannya lebih sedikit dan lebih kecil nilainya. Persebaran tegangan yang terjadi di *chassis* terjadi pada daerah pemasangan kaki-kaki, daerah ruang kemudi dan kursi.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 28,653 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian bawah kursi pengemudi. Tegangan maksimal sebesar itu masih berada dibawah tegangan izin material, sehingga menunjukkan bahwa Widya Wahana V model 1 memiliki kekuatan yang sangat baik.

IV.2.1.2 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 2

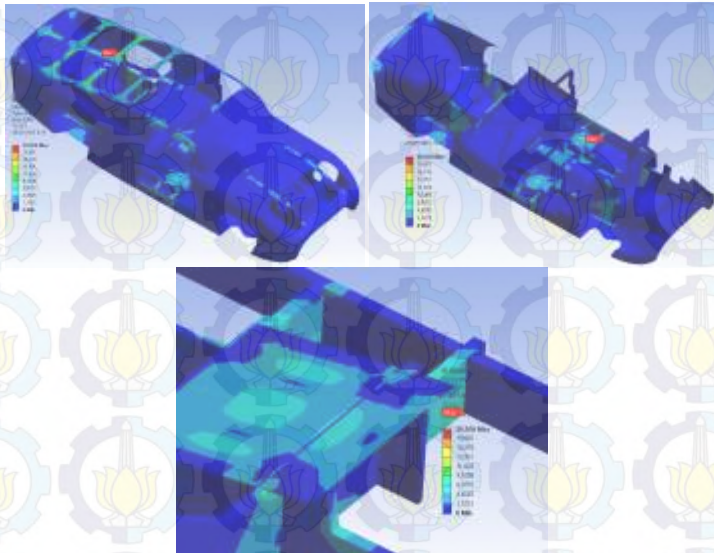


Gambar 4.2 Hasil simulasi tegangan *von-mises* akibat vertikal *bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 2

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap Widya Wahana model 2 diketahui bahwa Persebaran tegangan pada *body* berada pada daerah atas tempat peletakan panel surya dan daerah kupingan pintu atas, sedangkan pada daerah bawah persebaran tegangannya lebih sedikit dan lebih kecil nilainya. Persebaran tegangan yang terjadi di *chassis* terjadi pada daerah pemasangan kaki-kaki, daerah ruang kemudi dan kursi.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 28,605 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian bawah kursi pengemudi. Tegangan maksimal sebesar itu masih berada dibawah tegangan izin material, sehingga menunjukkan bahwa Widya Wahana V model 2 memiliki kekuatan yang sangat baik.

IV.2.1.3 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 3

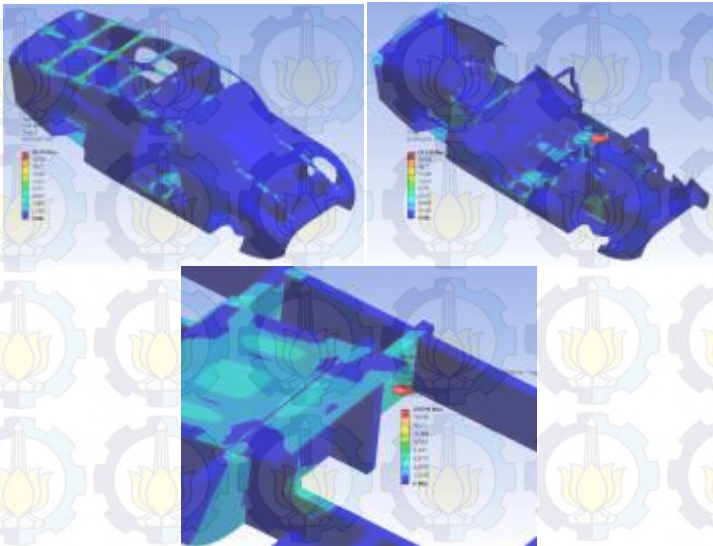


Gambar 4.3 Hasil simulasi tegangan *von-mises* akibat vertikal *bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 3

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap Widya Wahana model 3 diketahui bahwa Persebaran tegangan pada *body* berada pada daerah atas tempat peletakkan panel surya dan daerah kupingan pintu atas, sedangkan pada daerah bawah persebaran tegangannya lebih sedikit dan lebih kecil nilainya. Persebaran tegangan yang terjadi di *chassis* terjadi pada daerah pemasangan kaki-kaki, daerah ruang kemudi dan kursi.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 20,926 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian bawah kursi pengemudi. Tegangan maksimal sebesar itu masih berada dibawah tegangan izin material, sehingga menunjukkan bahwa Widya Wahana V model 3 memiliki kekuatan yang sangat baik.

IV.2.1.4 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 4



Gambar 4.4 Hasil simulasi tegangan *von-mises* akibat vertikal *bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 4

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap Widya Wahana model 4 diketahui bahwa Persebaran tegangan pada *body* berada pada daerah atas tempat peletakkan panel surya dan daerah kupingan pintu atas, sedangkan pada daerah bawah persebaran tegangannya lebih sedikit dan lebih kecil nilainya. Persebaran tegangan yang terjadi di *chassis* terjadi pada daerah pemasangan kaki-kaki, daerah ruang kemudi dan kursi.

Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 20,918 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian bawah kursi pengemudi. Tegangan maksimal sebesar itu masih berada dibawah tegangan izin material, sehingga menunjukkan bahwa Widya Wahana V model 4 memiliki kekuatan yang sangat baik.

IV.2.2 Analisa Gambar Deformasi Total

IV.2.2.1 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 1



Gambar 4.5 Hasil simulasi deformasi total akibat vertikal *bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 1

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap Widya Wahana V model 1 diketahui bahwa deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 3,5303 mm pada daerah *body* atas tempat peletakkan panel surya. Dikarenakan hasil deformasi yang masih cukup besar pada bagian tersebut, maka untuk mengurangi deformasi yang terjadi perlu diberi tambahan penguat atau perubahan ukuran dan bentuk lubang pada bagian atas. Sedangkan di daerah lainnya mengalami deformasi yang sangat kecil sekali. Deformasi maksimal yang terjadi pada *chassis* sangat kecil sebesar 0,26862 mm pada bagian sekitar kursi penumpang.

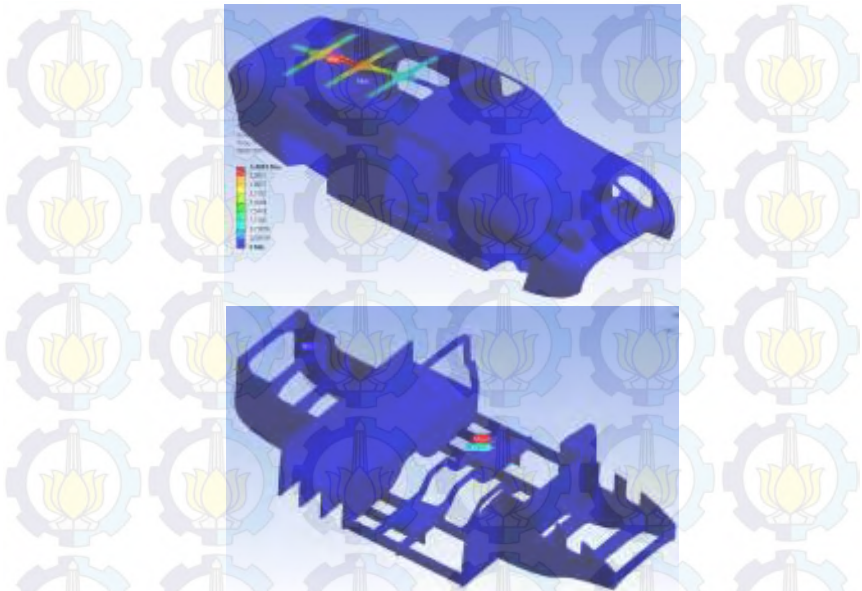
IV.2.2.2 *Body dan Chassis Widya Wahana V Model 2*



Gambar 4.6 Hasil simulasi deformasi total akibat vertikal *bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 2

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap Widya Wahana V model 2 diketahui bahwa deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 3,5255 mm pada daerah *body* atas tempat peletakkan panel surya. Dikarenakan hasil deformasi yang masih cukup besar pada bagian tersebut, maka untuk mengurangi deformasi yang terjadi perlu diberi tambahan penguat atau perubahan ukuran dan bentuk lubang pada bagian atas. Sedangkan di daerah lainnya mengalami deformasi yang sangat kecil sekali. Deformasi maksimal yang terjadi pada *chassis* sangat kecil sebesar 0,26853 mm pada bagian sekitar kursi penumpang.

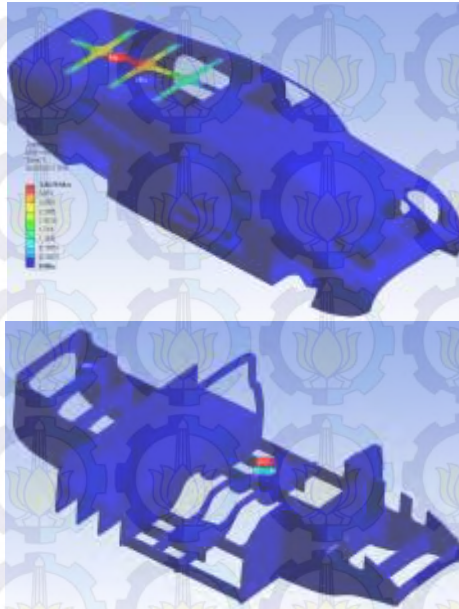
IV.2.2.3 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 3



Gambar 4.7 Hasil simulasi deformasi total akibat vertikal *bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 3

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap Widya Wahana V model 3 diketahui bahwa deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 3,4685 mm pada daerah *body* atas tempat peletakkan panel surya. Dikarenakan hasil deformasi yang masih cukup besar pada bagian tersebut, maka untuk mengurangi deformasi yang terjadi perlu diberi tambahan penguat atau perubahan ukuran dan bentuk lubang pada bagian atas. Sedangkan di daerah lainnya mengalami deformasi yang sangat kecil sekali. Deformasi maksimal yang terjadi pada *chassis* sangat kecil sebesar 0,20679 mm pada bagian sekitar kursi penumpang.

IV.2.2.4 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 4



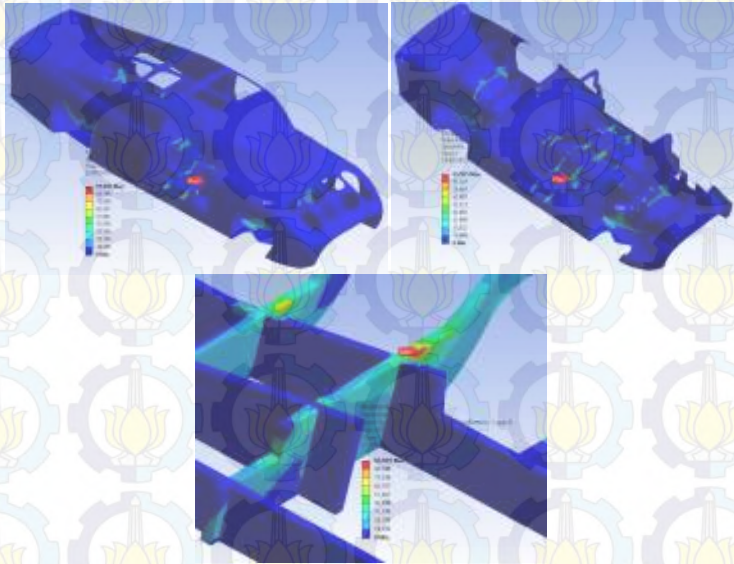
Gambar 4.8 Hasil simulasi deformasi total akibat vertikal *bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 4

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap Widya Wahana V model 4 diketahui bahwa deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 3,4628 mm pada daerah *body* atas tempat peletakkan panel surya. Dikarenakan hasil deformasi yang masih cukup besar pada bagian tersebut, maka untuk mengurangi deformasi yang terjadi perlu diberi tambahan penguat atau perubahan ukuran dan bentuk lubang pada bagian atas. Sedangkan didaerah lainnya mengalami deformasi yang sangat kecil sekali. Deformasi maksimal yang terjadi pada *chassis* sangat kecil sebesar 0,2053 mm pada bagian sekitar kursi penumpang.

IV.3 Analisa Gambar Hasil Simulasi *Lateral Bending*

IV.3.1 Analisa Gambar Tegangan *Von-Mises*

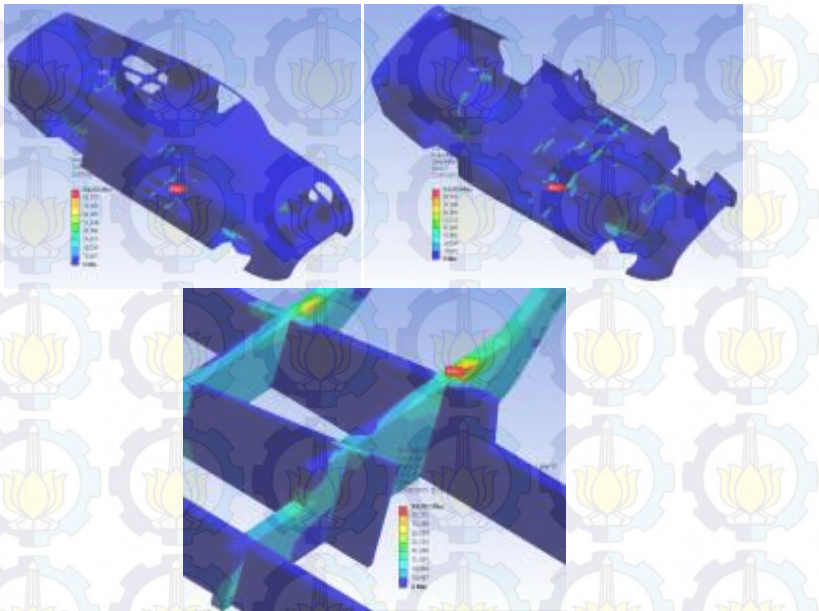
IV.3.1.1 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 1



Gambar 4.9 Hasil simulasi tegangan *von-mises* akibat *lateral bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 1

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap Widya Wahana model 1 diketahui bahwa persebaran tegangan *von-mises* yang terjadi berada pada daerah *chassis*, sedangkan untuk bagian *body* tegangan *von-mises* yang terjadi sangat kecil. Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 95,995 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian bawah kursi pengemudi. Tegangan maksimal sebesar itu masih berada dibawah tegangan izin material, sehingga menunjukkan bahwa Widya Wahana V model 1 mampu berbelok dengan radius 8 meter pada kecepatan 80 km/jam dengan baik.

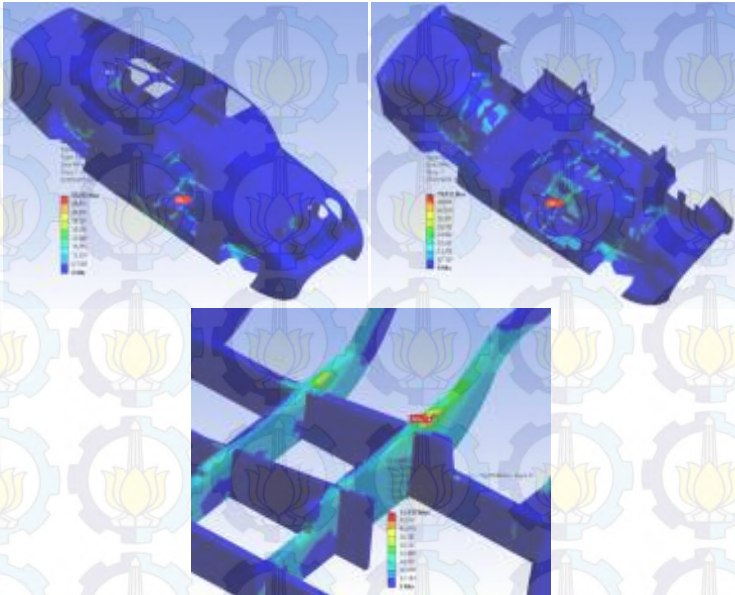
IV.3.1.2 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 2



Gambar 4.10 Hasil simulasi tegangan *von-mises* akibat *lateral bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 2

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap Widya Wahana model 2 diketahui bahwa persebaran tegangan *von-mises* yang terjadi berada pada daerah *chassis*, sedangkan untuk bagian *body* tegangan *von-mises* yang terjadi sangat kecil. Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 94,202 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian bawah kursi pengemudi. Tegangan maksimal sebesar itu masih berada dibawah tegangan izin material, sehingga menunjukkan bahwa Widya Wahana V model 2 mampu berbelok dengan radius 8 meter pada kecepatan 80 km/jam dengan baik.

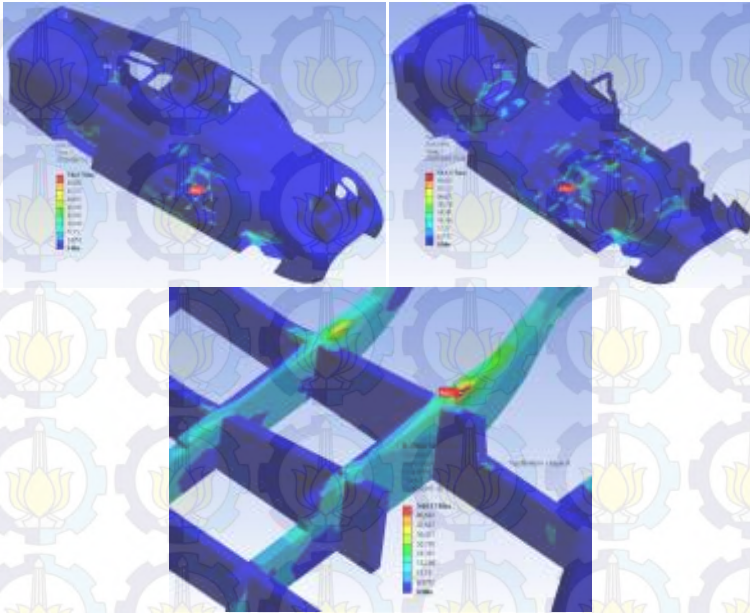
IV.3.1.3 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 3



Gambar 4.11 Hasil simulasi tegangan *von-mises* akibat *lateral bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 3

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap Widya Wahana model 3 diketahui bahwa persebaran tegangan *von-mises* yang terjadi berada pada daerah *chassis*, sedangkan untuk bagian *body* tegangan *von-mises* yang terjadi sangat kecil. Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 55,052 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian bawah kursi pengemudi. Tegangan maksimal sebesar itu masih berada dibawah tegangan izin material, sehingga menunjukkan bahwa Widya Wahana V model 3 mampu berbelok dengan radius 8 meter pada kecepatan 80 km/jam dengan baik.

IV.3.1.4 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 4

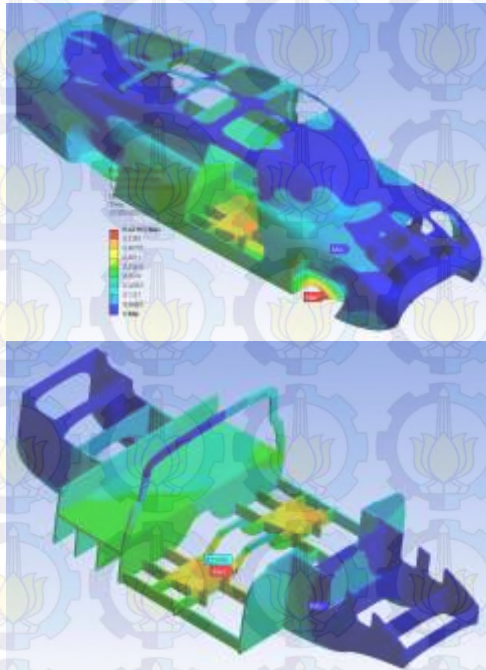


Gambar 4.12 Hasil simulasi tegangan *von-mises* akibat *lateral bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 4

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap Widya Wahana model 4 diketahui bahwa persebaran tegangan *von-mises* yang terjadi berada pada daerah *chassis*, sedangkan untuk bagian *body* tegangan *von-mises* yang terjadi sangat kecil. Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 54,677 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian bawah kursi pengemudi. Tegangan maksimal sebesar itu masih berada dibawah tegangan izin material, sehingga menunjukkan bahwa Widya Wahana V model 4 mampu berbelok dengan radius 8 meter pada kecepatan 80 km/jam dengan baik.

IV.3.2 Analisa Gambar Deformasi Total

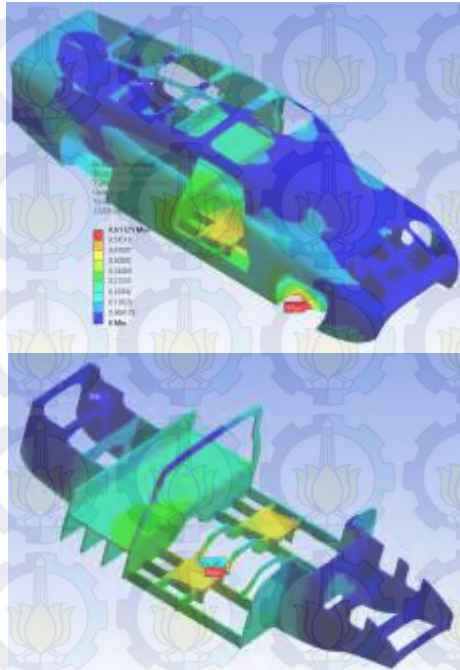
IV.3.2.1 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 1



Gambar 4.13 Hasil simulasi deformasi total akibat *lateral bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 1

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap Widya Wahana V model 1 diketahui bahwa deformasi terjadi diseluruh bagian mobil, deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 0,60165 mm pada daerah body bawah. Sedangkan deformasi maksimal yang terjadi pada *chassis* sangat kecil sebesar 0,55876 mm pada bagian sekitar kursi pengemudi. Sehingga dengan kondisi mobil berbelok dengan kecepatan 80 km/jam dengan radius 8 meter menghasilkan deformasi yang sangat kecil.

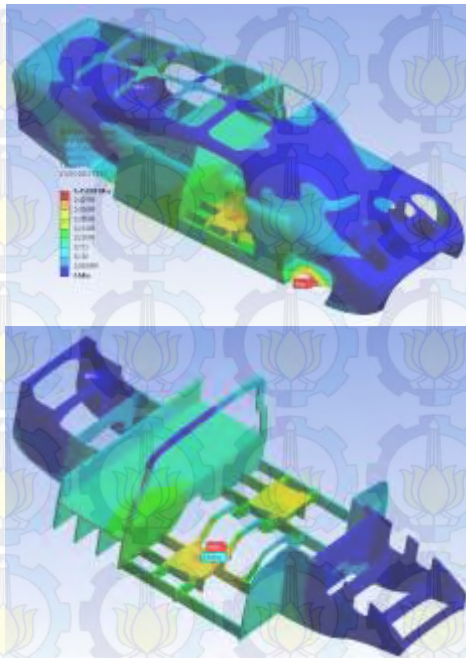
IV.3.2.2 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 2



Gambar 4.14 Hasil simulasi deformasi total akibat *lateral bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 2

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap Widya Wahana V model 2 diketahui bahwa deformasi terjadi diseluruh bagian mobil, deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 0,61325 mm pada daerah body bawah. Sedangkan deformasi maksimal yang terjadi pada *chassis* sangat kecil sebesar 0,52863 mm pada bagian sekitar kursi pengemudi. Sehingga dengan kondisi mobil berbelok dengan kecepatan 80 km/jam dengan radius 8 meter menghasilkan deformasi yang sangat kecil.

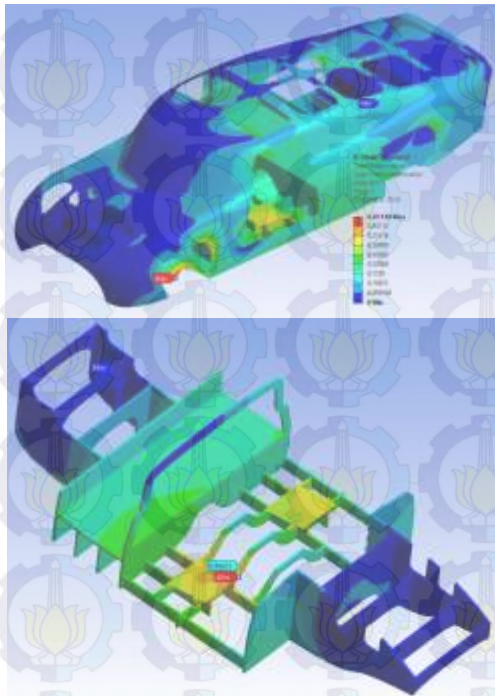
IV.3.2.3 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 3



Gambar 4.15 Hasil simulasi deformasi total akibat *lateral bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 3

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap Widya Wahana V model 3 diketahui bahwa deformasi terjadi diseluruh bagian mobil, deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 0,45899 mm pada daerah *body* bawah. Sedangkan deformasi maksimal yang terjadi pada *chassis* sangat kecil sebesar 0,40242 mm pada bagian sekitar kursi pengemudi. Sehingga dengan kondisi mobil berbelok dengan kecepatan 80 km/jam dengan radius 8 meter menghasilkan deformasi yang sangat kecil.

IV.3.2.4 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 4

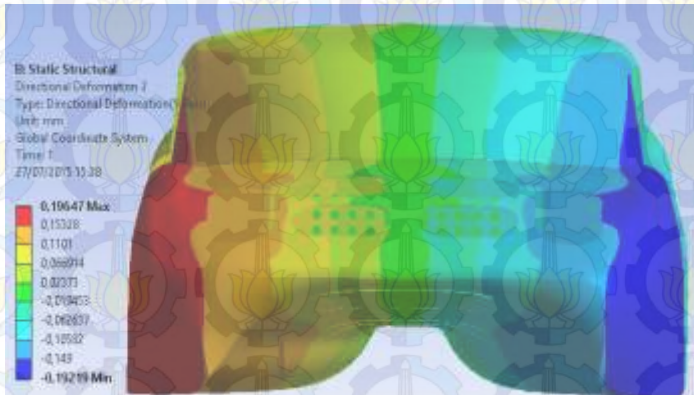


Gambar 4.16 Hasil simulasi deformasi total akibat *lateral bending* pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 4

Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap Widya Wahana V model 4 diketahui bahwa deformasi terjadi diseluruh bagian mobil, deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 0,45149 mm pada daerah *body* bawah. Sedangkan deformasi maksimal yang terjadi pada *chassis* sangat kecil sebesar 0,40055 mm pada bagian sekitar kursi pengemudi. Sehingga dengan kondisi mobil berbelok dengan kecepatan 80 km/jam dengan radius 8 meter menghasilkan deformasi yang sangat kecil.

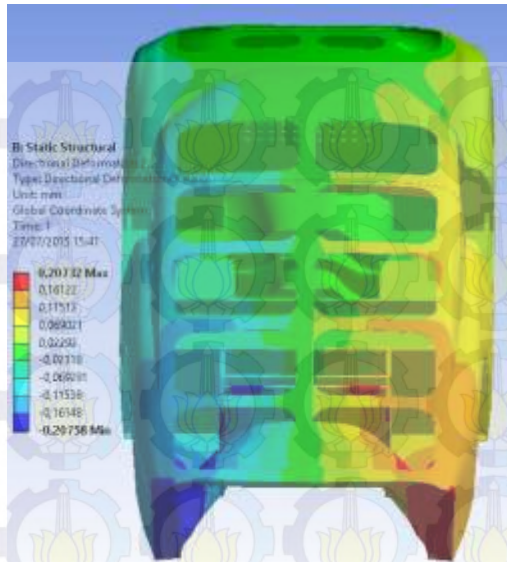
IV.4 Analisa Gambar Hasil Simulasi *Torsional Bending*

IV.4.1 *Body dan Chassis* Widya Wahana V Model 1



Gambar 4.17 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 1 pada pembebanan *torsi* depan

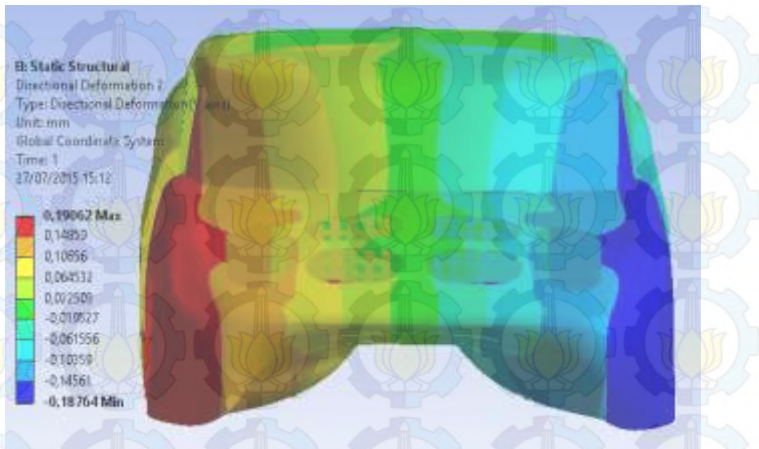
Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap Widya Wahana V model 1 dengan pemberian beban puntir pada bagian depan sebesar 936,15 N mengalami deformasi terhadap sumbu Y sebesar 0,19647 mm pada bagian depan sisi kanan dengan arah deformasi ke atas dan pada bagian depan sisi kiri sebesar 0,19219 mm dengan arah deformasi ke bawah. Deformasi terjadi di semua bagian dari *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 1. Widya Wahana V model 1 memiliki kekakuan yang baik dengan melihat besaran deformasi yang terjadi.



Gambar 4.18 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 1 pada pembebanan *torsi* belakang

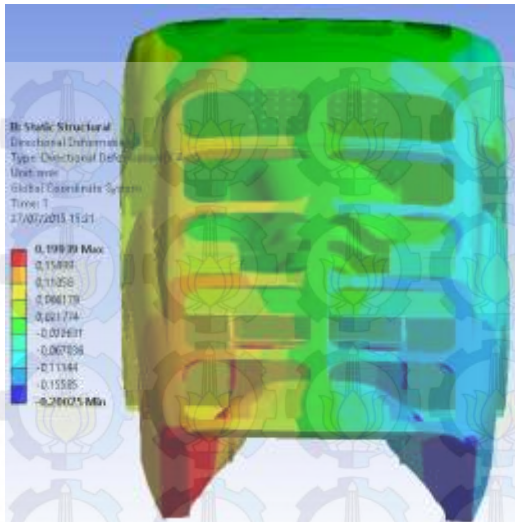
Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap Widya Wahana V model 1 dengan pemberian beban puntir pada bagian belakang sebesar 1294,27 N mengalami deformasi terhadap sumbu Y sebesar 0,20732 mm pada bagian belakang sisi kanan dengan arah deformasi ke atas dan pada bagian belakang sisi kiri sebesar 0,20758 mm dengan arah deformasi ke bawah. Deformasi terjadi disemua bagian dari *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 1. Widya Wahana V model 1 memiliki kekakuan yang baik dengan melihat besaran deformasi yang terjadi.

IV.4.2 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 2



Gambar 4.19 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 2 pada pembebanan *torsi* depan

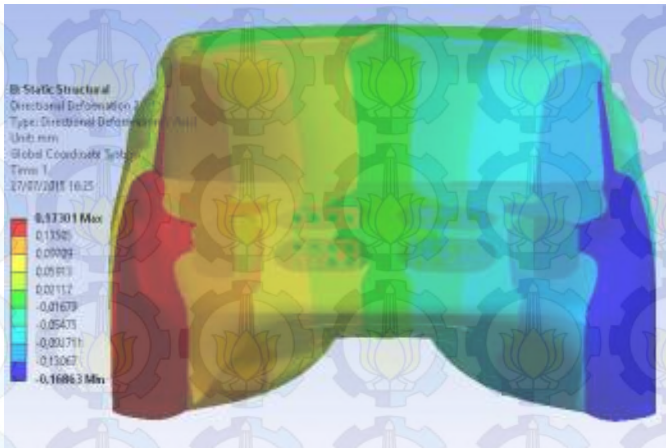
Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap Widya Wahana V model 2 dengan pemberian beban puntir pada bagian depan sebesar 939,81 N mengalami deformasi terhadap sumbu Y sebesar 0,19062 mm pada bagian depan sisi kanan dengan arah deformasi ke atas dan pada bagian depan sisi kiri sebesar 0,18764 mm dengan arah deformasi ke bawah. Deformasi terjadi disemua bagian dari *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 2. Widya Wahana V model 2 memiliki kekakuan yang baik dengan melihat besaran deformasi yang terjadi.



Gambar 4.20 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 2 pada pembebanan *torsi* belakang

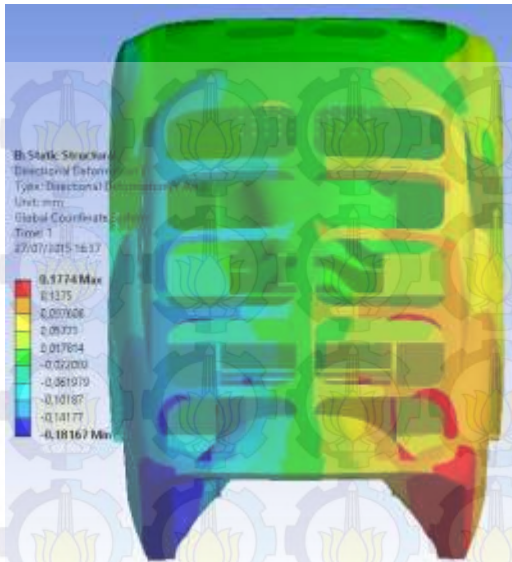
Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap Widya Wahana V model 2 dengan pemberian beban puntir pada bagian belakang sebesar 1299,35 N mengalami deformasi terhadap sumbu Y sebesar 0,19939 mm pada bagian belakang sisi kanan dengan arah deformasi ke atas dan pada bagian belakang sisi kiri sebesar 0,20025 mm dengan arah deformasi ke bawah. Deformasi terjadi disemua bagian dari *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 2. Widya Wahana V model 2 memiliki kekakuan yang baik dengan melihat besaran deformasi yang terjadi

IV.4.3 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 3



Gambar 4.21 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 3 pada pembebanan *torsi* depan

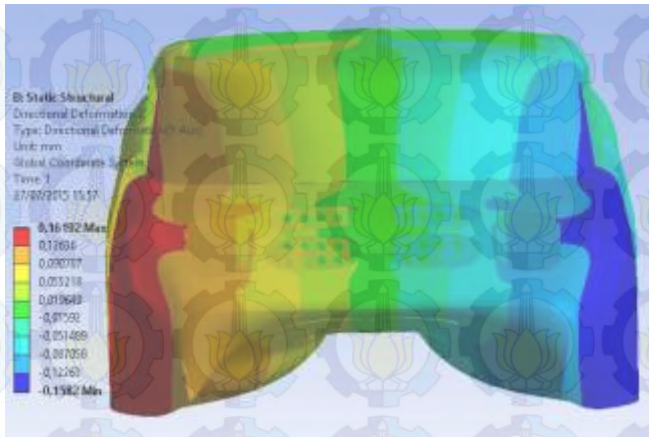
Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap Widya Wahana V model 3 dengan pemberian beban puntir pada bagian depan sebesar 949,82 N mengalami deformasi terhadap sumbu Y sebesar 0,17301 mm pada bagian depan sisi kanan dengan arah deformasi ke atas dan pada bagian depan sisi kiri sebesar 0,16863 mm dengan arah deformasi ke bawah. Deformasi terjadi disemua bagian dari *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 3. Widya Wahana V model 3 memiliki kekakuan yang baik dengan melihat besaran deformasi yang terjadi.



Gambar 4.22 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 3 pada pembebanan *torsi* belakang

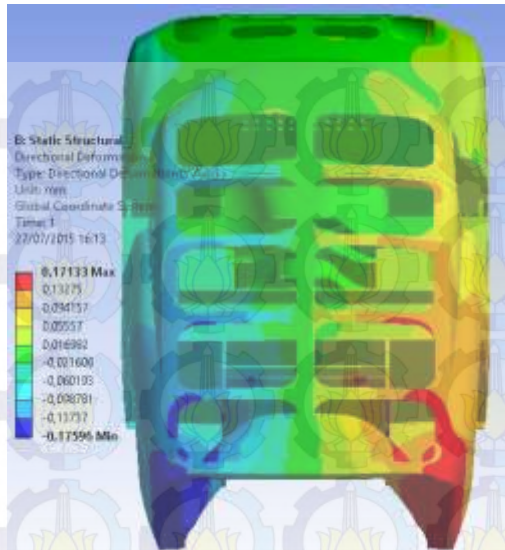
Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap Widya Wahana V model 3 dengan pemberian beban puntir pada bagian belakang sebesar 1313,18 N mengalami deformasi terhadap sumbu Y sebesar 0,1774 mm pada bagian belakang sisi kanan dengan arah deformasi ke atas dan pada bagian belakang sisi kiri sebesar 0,18167 mm dengan arah deformasi ke bawah. Deformasi terjadi disemua bagian dari *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 3. Widya Wahana V model 3 memiliki kekakuan yang baik dengan melihat besaran deformasi yang terjadi

IV.4.4 *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V Model 4



Gambar 4.23 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 4 pada pembebanan *torsi* depan

Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap Widya Wahana V model 4 dengan pemberian beban puntir pada bagian depan sebesar 953,5 N mengalami deformasi terhadap sumbu Y sebesar 0,16192 mm pada bagian depan sisi kanan dengan arah deformasi ke atas dan pada bagian depan sisi kiri sebesar 0,1582 mm dengan arah deformasi ke bawah. Deformasi terjadi disemua bagian dari *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 4. Widya Wahana V model 4 memiliki kekakuan yang baik dengan melihat besaran deformasi yang terjadi.



Gambar 4.24 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 4 pada pembebanan *torsi* belakang

Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap Widya Wahana V model 4 dengan pemberian beban puntir pada bagian belakang sebesar 1318,26 N mengalami deformasi terhadap sumbu Y sebesar 0,17133 mm pada bagian belakang sisi kanan dengan arah deformasi ke atas dan pada bagian belakang sisi kiri sebesar 0,17596 mm dengan arah deformasi ke bawah. Deformasi terjadi disemua bagian dari *body* dan *chassis* Widya Wahana V model 4. Widya Wahana V model 4 memiliki kekakuan yang baik dengan melihat besaran deformasi yang terjadi.

IV.5 Analisa Data Grafik

IV.5.1 Analisa Berat *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V

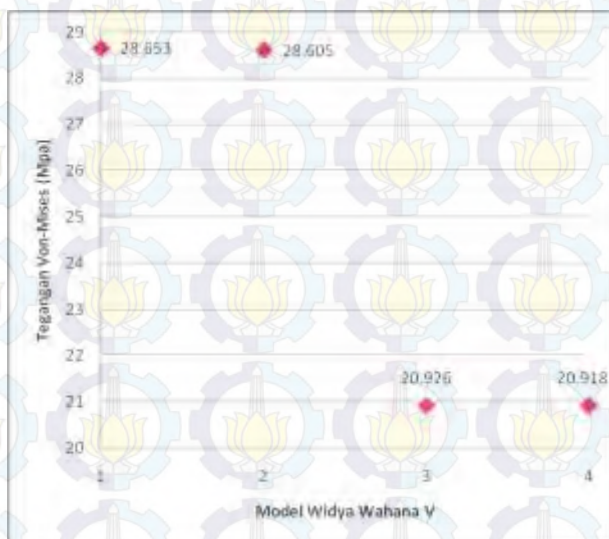


Gambar 4.25 Grafik perbandingan berat *body* dan *chassis* dengan variasi model Widya Wahana V

Dari grafik diatas dapat dilihat Widya Wahana V model 1 memiliki berat sebesar 72,36 kg, Widya Wahana V model 2 memiliki berat 73,79 kg, Widya Wahana V model 3 memiliki berat 77,68 kg dan Widya Wahana V model 4 memiliki berat paling besar yaitu 79,1 kg. Dapat dikatakan bahwa dengan peningkatan ketebalan material aluminium *honeycomb* (model 1 ke model 2 atau model 3 ke model 4) dan peningkatan jumlah *layer carbon fiber* (model 1 ke model 3 atau model 2 ke 4), berat dari *body* dan *chassis* Widya Wahana V juga akan mengalami peningkatan.

IV.5.2 Analisa Data Hasil Simulasi *Vertikal Bending*

IV.5.2.1 Analisa Tegangan *Von-Mises* Body dan Chassis Widya Wahana V



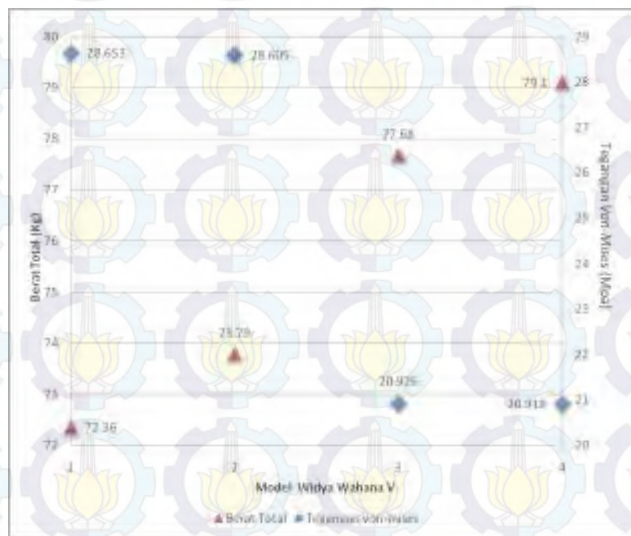
Gambar 4.26 Grafik perbandingan tegangan *von-mises* akibat vertikal *bending* dengan variasi model Widya Wahana V

Dari grafik perbandingan tegangan *von-mises* dengan variasi model Widya Wahana V dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tegangan *von-mises* yang dihasilkan akibat dari pembebanan vertikal. Dimana model 1 menghasilkan tegangan *von mises* sebesar 28,653 Mpa, model 2 menghasilkan tegangan *von-mises* sebesar 28,605 Mpa, model 3 menghasilkan tegangan *von-mises* sebesar 20,926 Mpa dan model 4 menghasilkan tegangan *von-mises* sebesar 20,918 Mpa. Perbedaan tegangan *von-mises* antara model 1 dan model 2 tidak berbeda secara signifikan, yaitu sebesar 0,048 Mpa. Sedangkan perbedaan tegangan *von-mises* antara model 2 dan model 3 memiliki perbedaan yang sangat signifikan sebesar 7,679 Mpa, dan perbedaan tegangan *von-mises* antara model 3 dan model 4 juga tidak berbeda jauh, yaitu sebesar 0,008 Mpa.

Dari ke empat model Widya Wahana V memiliki kekuatan yang baik, karena semua model memiliki tegangan *von-mises* yang jauh berada di bawah tegangan ijin materialnya. Urutan model Widya

Wahana V dengan sifat kekuatan yang terendah hingga tertinggi adalah model 1, model 2, model 3 dan model 4. Dari pembahasan diatas dapat dikatakan bahwa dengan penambahan ketebalan material inti (model 1 ke model 2 atau model 3 ke model 4) tidak akan menambah kekuatan yang signifikan, sedangkan dengan penambahan jumlah layer (model 1 ke model 3 atau model 2 ke 4) dari *reinforcement* akan meningkat kekuatan yang cukup signifikan.

IV.5.2.2 Analisa Tegangan *Von-Mises* dan Berat *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V

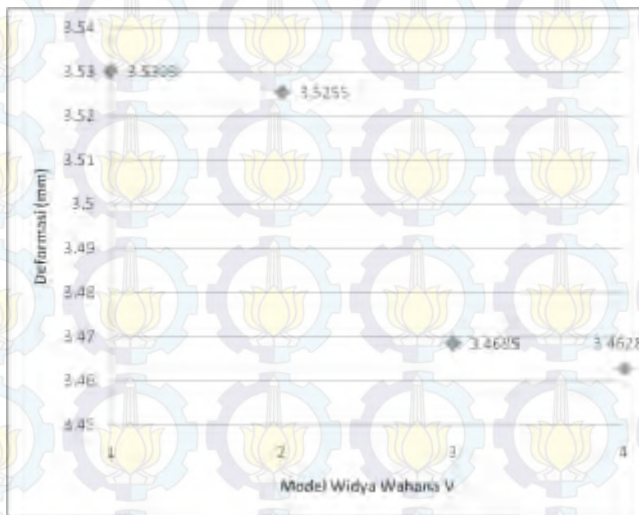


Gambar 4.27 Grafik perbandingan tegangan *von-mises* akibat vertikal *bending* dan berat dengan variasi model Widya Wahana V

Dari grafik diatas dapat dilihat titik berwarna merah adalah berat total dan titik warna biru adalah tegangan *von-mises*. Dapat dilihat bahwa untuk grafik berat mengalami peningkatan dari model 1 sampai model 4 dan terjadi penurunan untuk grafik tegangan *von-mises* dari model 1 sampai model 4. Jika tegangan *von-mises* yang terjadi dibandingkan dengan berat total yang dimiliki, akan menghasilkan *strength to weight ratio* untuk model 1 sebesar 0,396 Mpa/Kg, model 2 sebesar 0,387 Mpa/Kg, model 3 sebesar 0,269 Mpa/Kg dan untuk model

4 sebesar 0,264 Mpa/Kg. Sehingga jika diurutkan model yang memiliki *strength to weight ratio* tertinggi ke terendah adalah model 4, model 3, model 2 dan model 1. Dari grafik diatas dapat dikatakan bahwa dengan meningkatnya berat material pada suatu model akan meningkatkan kekuatannya pula.

IV.5.2.3 Analisa Deformasi Total pada *Body* Widya Wahana V

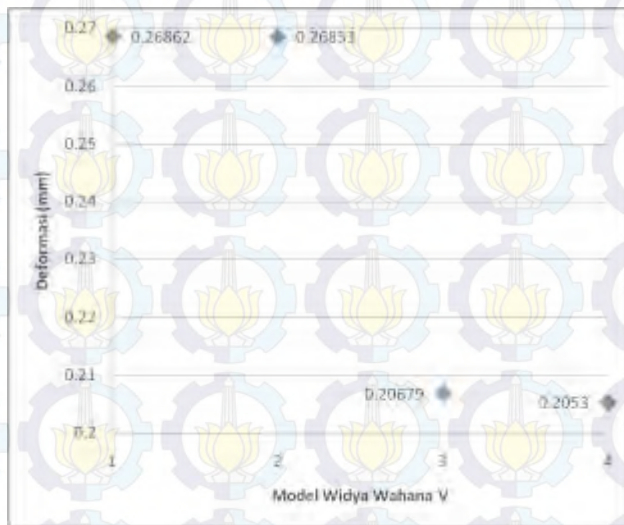


Gambar 4.28 Grafik perbandingan deformasi total akibat vertikal *bending* pada *body* dengan variasi model Widya Wahana V

Dari grafik perbandingan deformasi total pada *body* dengan variasi model Widya Wahana V dapat dilihat bahwa terjadi penurunan deformasi total yang terjadi akibat dari pembebanan vertikal. Dimana model 1 menghasilkan deformasi total sebesar 3,5303 mm, model 2 menghasilkan deformasi total sebesar 3,5255 mm, model 3 deformasi total sebesar 3,4685 mm dan Model 4 menghasilkan deformasi total sebesar 3,4628 mm. Deformasi sebesar 3 mm merupakan hasil deformasi yang masih cukup besar, maka untuk mengurangi deformasi yang terjadi perlu diberi tambahan penguat atau perubahan ukuran dan bentuk lubang pada bagian *body* atas. Jika dihubungkan dengan grafik sebelumnya, yaitu grafik perbandingan tegangan *von-mises* dengan

variasi model yang memiliki *trendline* menurun, begitu pula pada grafik perbandingan deformasi total pada *body* dengan variasi model yang memiliki grafik *trendline* menurun. Sehingga urutan model yang memiliki kekuatan terendah hingga tertinggi adalah model 1, model 2, model 3 dan model 4.

IV.5.2.4 Analisa Deformasi Total pada *Chassis* Widya Wahana V



Gambar 4.29 Grafik perbandingan deformasi total akibat vertikal *bending* pada *chassis* dengan variasi model Widya Wahana V

Dari grafik perbandingan deformasi total pada *chassis* dengan variasi model Widya Wahana V dapat dilihat bahwa terjadi penurunan deformasi total yang terjadi akibat dari pembebanan vertikal. Dimana model 1 menghasilkan deformasi total sebesar 0,26862 mm, model 2 menghasilkan deformasi total sebesar 0,26853 mm, model 3 deformasi total sebesar 0,20679 mm dan Model 4 menghasilkan deformasi total sebesar 0,2053 mm. Dengan melihat angka deformasi yang kecil pada *chassis*, dapat dikatakan model 1 sampai model 4 memiliki kekuatan yang baik terhadap beban vertikal. Jika dihubungkan dengan grafik sebelumnya, yaitu grafik perbandingan tegangan *von-mises* dengan variasi model yang memiliki *trendline* menurun, begitu pula pada grafik

perbandingan deformasi total pada *chassis* dengan variasi model yang memiliki grafik *trendline* menurun. Sehingga urutan model yang memiliki kekuatan terendah hingga tertinggi adalah model 1, model 2, model 3 dan model 4.

IV.5.3 Analisa Data Hasil Simulasi *Lateral Bending*

IV.5.3.1 Analisa Tegangan *Von-Mises Body* dan *Chassis* Widya Wahana V



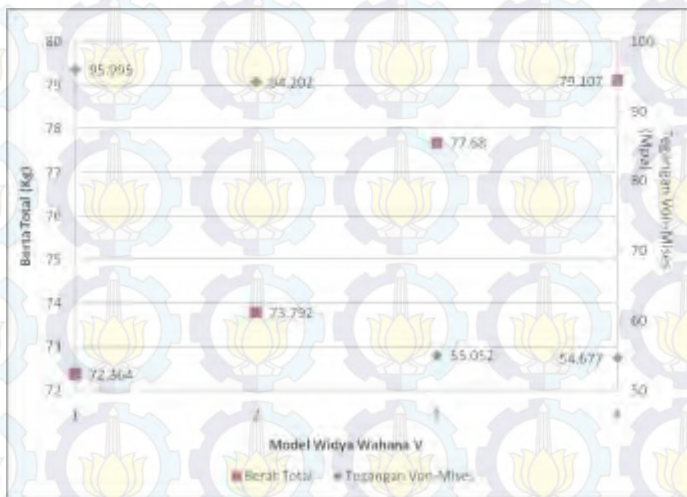
Gambar 4.30 Grafik perbandingan tegangan *von-mises* akibat *lateral bending* dengan variasi model Widya Wahana V

Dari grafik perbandingan tegangan *von-mises* dengan variasi model Widya Wahana V dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tegangan *von-mises* yang dihasilkan akibat dari pembebanan belok. Dimana model 1 menghasilkan tegangan *von mises* sebesar 95,995 Mpa, model 2 menghasilkan tegangan *von-mises* sebesar 94,202 Mpa, model 3 menghasilkan tegangan *von-mises* sebesar 55,052 Mpa dan model 4 menghasilkan tegangan *von-mises* sebesar 54,677 Mpa. Perbedaan tegangan *von-mises* antara model 1 dan model 2 tidak berbeda secara signifikan, yaitu sebesar 1,793 Mpa. Sedangkan perbedaan tegangan *von-mises* antara model 2 dan model 3 memiliki perbedaan yang sangat signifikan sebesar 40,943 Mpa, dan perbedaan tegangan *von-mises*

antara model 3 dan model 4 juga tidak berbeda jauh, yaitu sebesar 0,375 Mpa.

Dari ke empat model Widya Wahana V memiliki kekuatan yang baik, karena semua model memiliki tegangan *von-mises* yang jauh berada di bawah tegangan ijin materialnya. Urutan model Widya Wahana V dengan sifat kekuatan yang terendah hingga tertinggi adalah model 1, model 2, model 3 dan model 4. Dari pembahasan diatas dapat dikatakan bahwa dengan penambahan ketebalan material inti (model 1 ke model 2 atau model 3 ke model 4) tidak akan menambah kekuatan yang signifikan, sedangkan dengan penambahan jumlah layer (model 1 ke model 3 atau model 2 ke 4) dari *reinforcement* akan meningkat kekuatan yang cukup signifikan.

IV.5.3.2 Analisa Tegangan *Von-Mises* dan Berat *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V



Gambar 4.31 Grafik perbandingan tegangan *von-mises* akibat *lateral bending* dan berat dengan variasi model Widya Wahana V

Dari grafik diatas dapat dilihat titik berwarna merah adalah berat total dan titik warna biru adalah tegangan *von-mises*. Dapat dilihat bahwa untuk grafik berat mengalami peningkatan dari model 1 sampai model 4 dan terjadi penurunan untuk grafik tegangan *von-mises* dari

model 1 sampai model 4. Jika tegangan *von-mises* yang terjadi dibandingkan dengan berat total yang dimiliki, akan menghasilkan *strength to weight ratio* untuk model 1 sebesar 1,326 Mpa/Kg, model 2 sebesar 1,276 Mpa/Kg, model 3 sebesar 0,708 Mpa/Kg dan untuk model 4 sebesar 0.691 Mpa/Kg. Sehingga jika diurutkan model yang memiliki *strength to weight ratio* tertinggi ke terendah adalah model 4, model 3, model 2 dan model 1. Dari grafik diatas dapat dikatakan bahwa dengan meningkatnya berat material pada suatu model akan meningkatkan kekuatannya pula.

IV.5.3.3 Analisa Deformasi Total pada *Body* Widya Wahana V

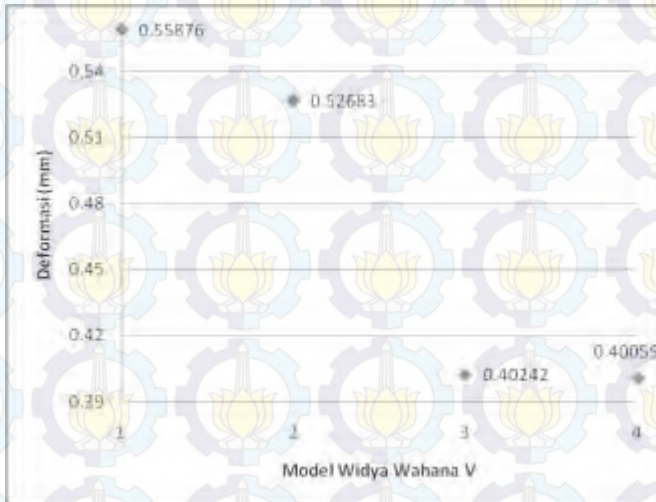


Gambar 4.32 Grafik perbandingan deformasi total akibat *lateral bending* pada *body* dengan variasi model Widya Wahana V

Dari grafik perbandingan deformasi total pada *body* dengan variasi model Widya Wahana V dapat dilihat bahwa terjadi penurunan deformasi total yang terjadi akibat dari pembebanan *lateral*. Dimana model 1 menghasilkan deformasi total sebesar 0,61325 mm, model 2 menghasilkan deformasi total sebesar 0,60165 mm, model 3 deformasi total sebesar 0,45899 mm dan Model 4 menghasilkan deformasi total sebesar 0,45149 mm. Dengan melihat angka deformasi yang kecil pada *body*, dapat dikatakan model 1 sampai model 4 memiliki kekuatan yang baik terhadap beban *lateral*. Jika dihubungkan dengan grafik

sebelumnya, yaitu grafik perbandingan tegangan *von-mises* dengan variasi model yang memiliki *trendline* menurun, begitu pula pada grafik perbandingan deformasi total pada *body* dengan variasi model yang memiliki grafik *trendline* menurun. Sehingga urutan model yang memiliki kekuatan terendah hingga tertinggi adalah model 1, model 2, model 3 dan model 4.

IV.5.3.4 Analisa Deformasi Total pada *Chassis* Widya Wahana V



Gambar 4.33 Grafik perbandingan deformasi total akibat *lateral bending* pada *chassis* dengan variasi model Widya Wahana V

Dari grafik perbandingan deformasi total pada *chassis* dengan variasi model Widya Wahana V dapat dilihat bahwa terjadi penurunan deformasi total yang terjadi akibat dari pembebanan *lateral*. Dimana model 1 menghasilkan deformasi total sebesar 0,55876 mm, model 2 menghasilkan deformasi total sebesar 0,52683 mm, model 3 deformasi total sebesar 0,40242 mm dan Model 4 menghasilkan deformasi total sebesar 0,40055 mm. Dengan melihat angka deformasi yang kecil pada *chassis*, dapat dikatakan model 1 sampai model 4 memiliki kekuatan yang baik terhadap beban *lateral*. Jika dihubungkan dengan grafik sebelumnya, yaitu grafik perbandingan tegangan *von-mises* dengan variasi model yang memiliki *trendline* menurun, begitu pula pada grafik

perbandingan deformasi total pada *chassis* dengan variasi model yang memiliki grafik *trendline* menurun. Sehingga urutan model yang memiliki kekuatan terendah hingga tertinggi adalah model 1, model 2, model 3 dan model 4.

IV.5.4 Analisa Data Hasil Simulasi *Torsional Bending*

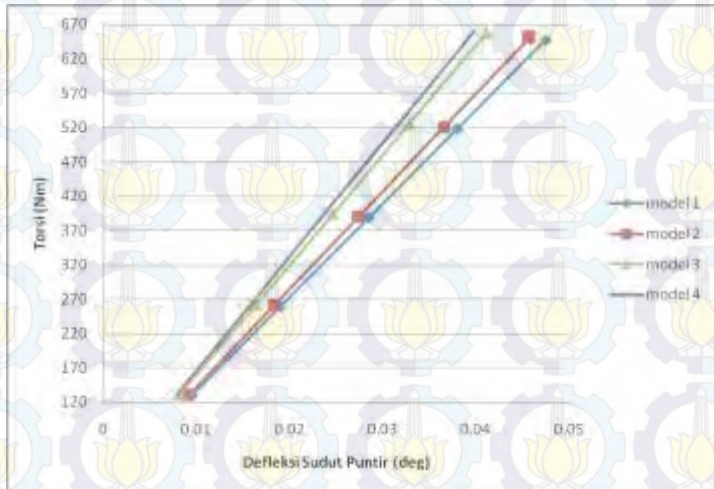
IV.5.4.1 Analisa Perbandingan *Torsi* pada Pembebanan Depan dengan Defleksi Sudut Puntir



Gambar 4.34 Grafik perbandingan *torsi* pada pembebanan depan dengan defleksi sudut puntir

Dari grafik diatas dapat dilihat dari ke empat model mengalami peningkatan grafik secara linear. Dari grafik diatas diketahui bahwa pada model 1 dengan *torsi* sebesar 468,73 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 0,044°, pada model 2 dengan *torsi* sebesar 470,56 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 0,043°, pada model 3 dengan *torsi* sebesar 475,57 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 0,039° dan pada model 4 dengan *torsi* sebesar 477,41 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 0,036°. Sehingga dengan bertambahnya nilai *torsi* maka akan bertambah besar pula defleksi sudut puntir yang terjadi.

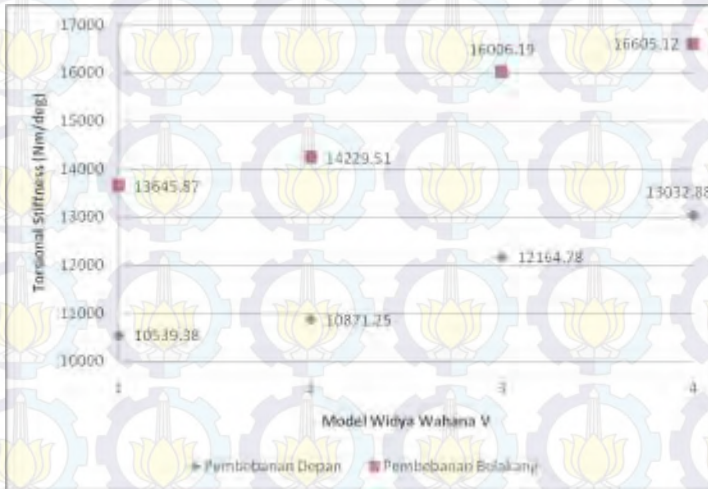
IV.5.4.2 Analisa Perbandingan *Torsi* pada Pembebanan Belakang dengan Defleksi Sudut Puntir



Gambar 4.35 Grafik perbandingan *torsi* pada pembebanan belakang dengan defleksi sudut puntir

Dari grafik diatas dapat dilihat dari ke empat model mengalami peningkatan grafik secara linear. Dari grafik diatas diketahui bahwa pada model 1 dengan *torsi* sebesar 648,04 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 0,047°, pada model 2 dengan *torsi* sebesar 650,58 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 0,045°, pada model 3 dengan *torsi* sebesar 657,51 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 0,041° dan pada model 4 dengan *torsi* sebesar 660,05 Nm akan menghasilkan defleksi sudut sebesar 0,039°. Sehingga dengan bertambahnya nilai *torsi* maka akan bertambah besar pula defleksi sudut puntir yang terjadi.

IV.5.4.3 Analisa *Torsional Stiffness* Body dan Chassis Widya Wahana V



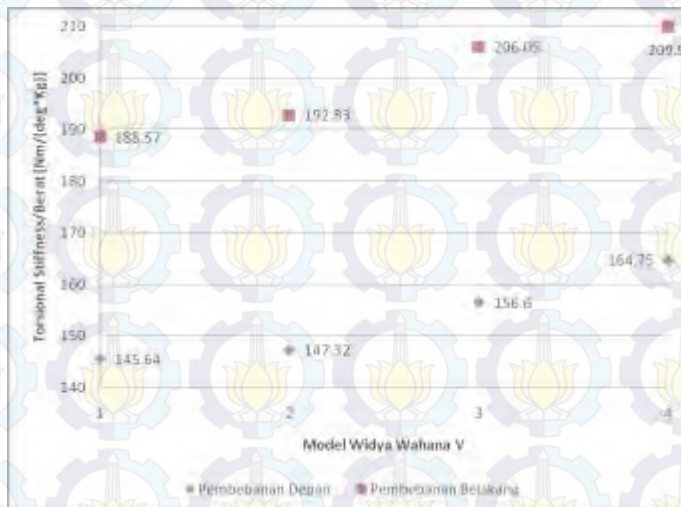
Gambar 4.36 Grafik perbandingan *torsional stiffness* dengan variasi model Widya Wahana V

Dari grafik diatas dapat dilihat adanya peningkatan *torsional stiffness* dari model 1 hingga model 4. Dimana untuk pembebanan depan pada model 1 memiliki *torsional stiffness* sebesar 10.539,38 Nm/deg, model 2 memiliki *torsional stiffness* sebesar 10.871,25 Nm/deg, model 3 memiliki *torsional stiffness* sebesar 12.164,78 Nm/deg dan model 4 memiliki *torsional stiffness* sebesar 13.032,88 Nm/deg. Sedangkan untuk pembebanan belakang pada model 1 memiliki *torsional stiffness* sebesar 13.645,87 Nm/deg, model 2 memiliki *torsional stiffness* sebesar 14.229,51 Nm/deg, model 3 memiliki *torsional stiffness* sebesar 16.006,19 Nm/deg dan model 4 memiliki *torsional stiffness* sebesar 16.605,12 Nm/deg.

Dari ke empat model Widya Wahana V memiliki kekakuan yang cukup baik, karena semua model memiliki defleksi sudut puntir yang relatif kecil. Urutan model Widya Wahana V dengan sifat kekakuan yang terendah hingga tertinggi adalah model 1 dengan *torsional stiffness* sebesar 10.539,38 Nm/deg, model 2 dengan *torsional stiffness* sebesar 10.871,25 Nm/deg, model 3 dengan *torsional stiffness*

sebesar 12.164,78 Nm/deg dan model 4 dengan *torsional stiffness* sebesar 13.032,88 Nm/deg. Dari pembahasan diatas dapat dikatakan bahwa dengan penambahan ketebalan material inti inti (model 1 ke model 2 atau model 3 ke model 4) dan penambahan jumlah layer (model 1 ke model 3 atau model 2 ke 4) dari *reinforcement* akan meningkat kekakuan.

IV.5.4.4 Analisa *Torsional Stiffness*/Berat *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V



Gambar 4.37 Grafik perbandingan *torsional stiffness*/berat dengan variasi model Widya Wahana V

Dari grafik diatas dapat dilihat adanya peningkatan *torsional stiffness*/berat dari model 1 hingga model 4. Dimana untuk pembebanan depan pada model 1 memiliki *torsional stiffness*/berat sebesar 145,64 Nm/(deg*kg), model 2 memiliki *torsional stiffness*/berat sebesar 147,32 Nm/(deg*kg), model 3 memiliki *torsional stiffness*/berat sebesar 156,6 Nm/(deg*kg) dan model 4 memiliki *torsional stiffness*/berat sebesar 164,75 Nm/(deg*kg). Perbedaan *torsional stiffness*/berat antara model 1 dan model 2 tidak berbeda secara signifikan, yaitu sebesar 1,68 Nm/(deg*kg). Sedangkan perbedaan *torsional stiffness*/berat antara model 2 dan model 3 memiliki peningkatan sebesar 9,28 Nm/(deg*kg)

dan perbedaan *torsional stiffness*/berat antara model 3 dan model 4 perbedaannya sebesar 8,15 Nm/(deg*kg). Sedangkan untuk pembebanan depan pada model 1 memiliki *torsional stiffness*/berat sebesar 188,57 Nm/(deg*kg), model 2 memiliki *torsional stiffness*/berat sebesar 192,83 Nm/(deg*kg), model 3 memiliki *torsional stiffness*/berat sebesar 206,05 Nm/(deg*kg) dan model 4 memiliki *torsional stiffness*/berat sebesar 209,9 Nm/(deg*kg). Perbedaan *torsional stiffness*/berat antara model 1 dan model 2 sebesar 4,26 Nm/(deg*kg). Sedangkan perbedaan *torsional stiffness*/berat antara model 2 dan model 3 memiliki peningkatan sebesar 13,22 Nm/(deg*kg) dan perbedaan *torsional stiffness*/berat antara model 3 dan model 4 perbedaannya yaitu sebesar 3,85 Nm/(deg*kg).

Dari pembahasan diatas dapat dikatakan bahwa dengan bertambahnya berat dari model 1 hingga model 4 akibat variasi penambahan ketebalan material inti inti (model 1 ke model 2 atau model 3 ke model 4) dan penambahan jumlah layer (model 1 ke model 3 atau model 2 ke 4) pada *carbon fiber* menghasilkan peningkatan kekakuan pada Widya Wahana V yang tidak terlalu besar peningkatannya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Widya Wahana V model 1 memiliki kekuatan yang baik, karena nilai tegangan von-mises akibat vertikal *bending* yang terjadi sebesar 28,653 Mpa dan masih berada dibawah tegangan izin material dengan deformasi maksimal yang dihasilkan sebesar 3,5303 mm. Serta Tegangan von-mises akibat *lateral bending* yang terjadi sebesar 95,995 Mpa dan masih berada dibawah tegangan izin material dengan deformasi maksimal yang dihasilkan sebesar 0,61325 mm. *Torsional stiffness* yang dimiliki model 1 sebesar 10.539,38 Nm/deg, hasil tersebut menunjukkan model 1 memiliki kekakuan yang baik jika berada pada jalan di Australia yang memiliki jalan aspal yang rata dan halus. Berat yang dimiliki model 1 sebesar 72,364 Kg dan masih berada dibawah target maksimal berat rancangan, yaitu sebesar 80 Kg.
2. Widya Wahana V model 2 memiliki kekuatan yang baik, karena nilai tegangan von-mises akibat vertikal *bending* yang terjadi sebesar 28,605 Mpa dan masih berada dibawah tegangan izin material dengan deformasi maksimal yang dihasilkan sebesar 3,5255 mm. Serta Tegangan von-mises akibat *lateral bending* yang terjadi sebesar 94,202 Mpa dan masih berada dibawah tegangan izin material dengan deformasi maksimal yang dihasilkan sebesar 0,60165 mm. *Torsional stiffness* yang dimiliki model 2 sebesar 10.871,25 Nm/deg, hasil tersebut menunjukkan model 2 memiliki kekakuan yang baik jika berada pada jalan di Australia yang memiliki jalan aspal yang rata dan halus. Berat yang dimiliki model 2 sebesar 73,792 Kg dan masih berada dibawah target maksimal berat rancangan, yaitu sebesar 80 Kg.

3. Widya Wahana V model 3 memiliki kekuatan yang baik, karena nilai tegangan von-mises akibat vertikal *bending* yang terjadi sebesar 20,926 Mpa dan masih berada dibawah tegangan izin material dengan deformasi maksimal yang dihasilkan sebesar 3,4685 mm. Serta Tegangan von-mises akibat *lateral bending* yang terjadi sebesar 55,052 Mpa dan masih berada dibawah tegangan izin material dengan deformasi maksimal yang dihasilkan sebesar 0,45899 mm. *Torsional stiffness* yang dimiliki model 3 sebesar 12.164,78 Nm/deg, hasil tersebut menunjukkan model 3 memiliki kekakuan yang baik jika berada pada jalan di Australia yang memiliki jalan aspal yang rata dan halus. Berat yang dimiliki model 3 sebesar 77,68 Kg dan masih berada dibawah target maksimal berat rancangan, yaitu sebesar 80 Kg.
4. Widya Wahana V model 1 memiliki kekuatan yang baik, karena nilai tegangan von-mises akibat vertikal *bending* yang terjadi sebesar 20,918 Mpa dan masih berada dibawah tegangan izin material dengan deformasi maksimal yang dihasilkan sebesar 3,4628 mm. Serta Tegangan von-mises akibat *lateral bending* yang terjadi sebesar 54,677 Mpa dan masih berada dibawah tegangan izin material dengan deformasi maksimal yang dihasilkan sebesar 0,45149 mm. *Torsional stiffness* yang dimiliki model 4 sebesar 13.032,88 Nm/deg, hasil tersebut menunjukkan model 4 memiliki kekakuan yang baik jika berada pada jalan di Australia yang memiliki jalan aspal yang rata dan halus. Berat yang dimiliki model 4 sebesar 79,1 Kg dan masih berada dibawah target maksimal berat rancangan, yaitu sebesar 80 Kg.
5. Model yang dapat digunakan sebagai rancangan Widya Wahana V untuk *World Solar Challenge* 2015 adalah model 1, karena model 1 memiliki berat yang paling ringan serta kekuatan dan kekakuan yang baik jika berada pada jalan Australia yang rata dan mulus.

V.2 Saran

Saran untuk penelitian ini adalah:

1. Dilakukan eksperimen sebagai pembandingan hasil dari simulasi.
2. Dilakukan eksperimen pengujian tarik atau tekan untuk mendapatkan properti dari *sandwich* komposit, dengan komposisi *skin* menggunakan *carbon fiber* dan material inti menggunakan aluminium *honeycomb* dan nomex *honeycomb*.
3. Dilakukan optimasi simulasi untuk mencari model dengan ketebalan material inti, jumlah layer *fiber carbon* dan orientasi arah serat yang memiliki berat ringan dengan kekakuan dan kekuatan yang baik.
4. Dilakukan simulasi terhadap pembebanan dinamis dan simulasi tabrakan.



DAFTAR PUSTAKA

- 1) Bennison, S.J., Proost, Kristof., dan Hayes, R.A. 2011. "Mechanically reliable solar cell modules". USA.
- 2) Callister, Jr.William.D, 2007, "Material Sciene And Engineering An Introduction." John Wiley & Sons Inc: United States of America.
- 3) Cambridge university engineering departement. 2003. "Material Data Book". Inggris: Cambridge University.
- 4) Chung, Deborah D.L.2010. "Composite Materials, Science and Applications". Springer: United Kingdom.
- 5) Composite.ugent(24 maret 2015)
- 6) Curbsideclassic.com(24 maret 2015)
- 7) Easycomposites.co.uk/Category/Core-Materials.aspx(24 maret 2015)
- 8) Engineering Data Resource. *Software Finite Element*
- 9) En.wikipedia.org/polymer.htm (24 maret2015)
- 10) En.wikipedia.org/wiki/3D_composites (24 maret 2015)
- 11) En.wikipedia.org/wiki/Carbon-fiber-reinforced_polymer(24 maret 2015)
- 12) En.wikipedia.org/wiki/Polycarbonate (11 mei 2015)
- 13) Eurenus, C.A. dkk. 2013. "Analysis of Composite Chassis". Goteborg: Chalmers University of Technology.
- 14) Formula1-dictionary.net(24 maret 2015)
- 15) Hexcel Composite. 1999. "HexWeb Honeycomb Attribut and Properties". California: Recycled Paper
- 16) Hexcel Corporation. 1987. "The Base on Bonded Sandwich Construction TSB 124". USA: Hexcel Trademark.
- 17) Initialdave.com(24 maret 2015)
- 18) Lamborghini.com (24 maret 2015)
- 19) Mazumdar, Sanjay K. "Composites Manufacturing" CRC Press: United Kingdom.
- 20) Morgan, P. 2005. "Carbon Fibers and their Composites". New York: Taylor & Francis Group.

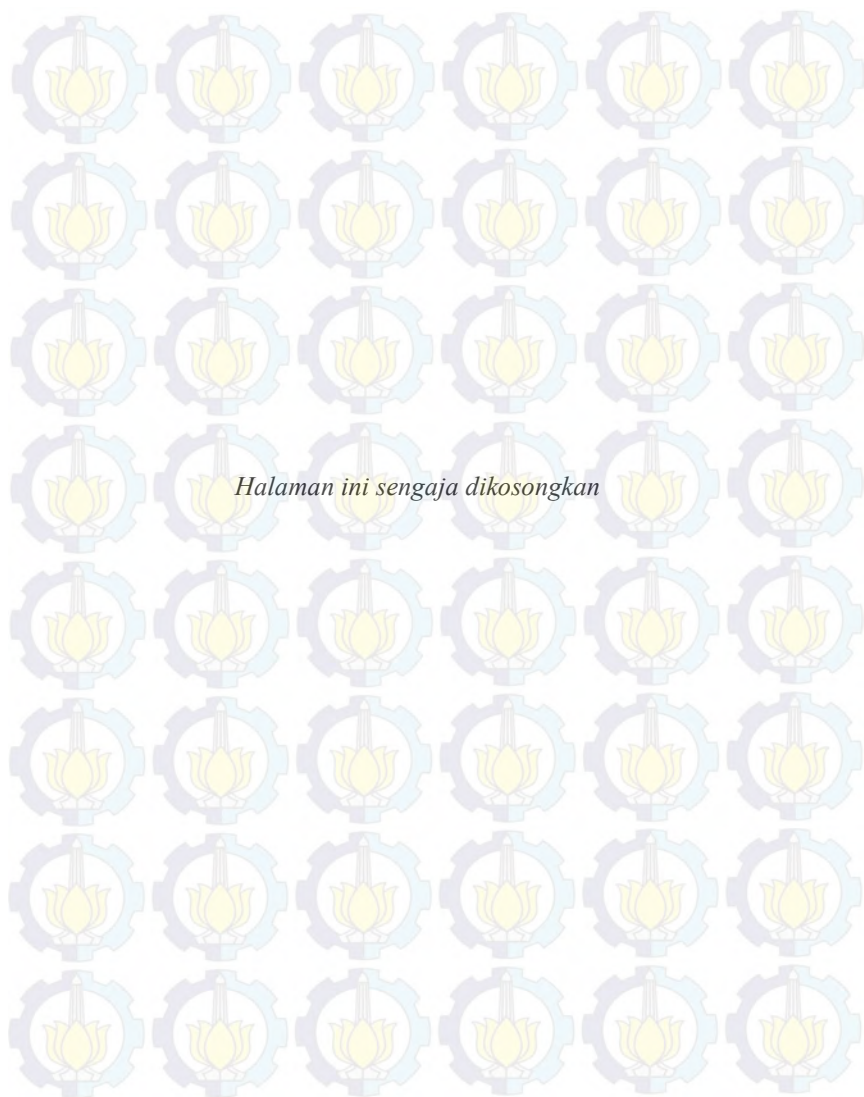
- 21) Nagaraju, J.S., dan Babu, U.H. 2012. "*Design and Structural Analysis of Heavy Vehicle Chassis Frame Made of Composite Material by Varying Reinforcement Angles of Layers*". Ongole: QIS College of Engineering & Technology.
- 22) P.C Pandey. Composite Materials, Web Based Course. Dept. of Civil Engineering IISc Bangalore: India.
- 23) Quartus.com/resources/white-papers/composites-101/ (24 maret 2015)
- 24) Repository.usu.ac.id (24 maret 2015)
- 25) Schwingshachi, C.W., Aglietti, G.S., dan Cunningham, P.R. 2006. "*Determination of Honeycomb Material Properties : Existing Theories and An Alternative Dynamic Approach*". Journal of Aerospace Engineering.
- 26) SP System. Composite Engineering Material
- 27) Upcscavenger.com (24 maret 2015)
- 28) www.3m.com (12 mei 2015)
- 29) www.lantor.com/lantor-soric/ (17 juni 2015)
- 30) www.germancarforum.com/ (27 Juli 2015)

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap **Endry Zhulham Pratama**, lahir di Bogor, 20 Juni 1993. Penulis merupakan anak tunggal dari pasangan Agus Somad dan Yendrianis. Penulis Mengawali pendidikan di TK Islam As-Salam pada tahun 1998 dan SD Islam Karya Mukti lulus pada tahun 2005, melanjutkan pendidikan di SMP Puspnegara dan lulus pada tahun 2008, kemudian melanjutkan di SMA Negeri 6 Bogor dan menyelesaikan program studi pada 2010 dalam kurun waktu 2 tahun.

Kemudian penulis melanjutkan pendidikan S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil jurusan Teknik Mesin angkatan 2010 "M-53". Selama masa perkuliahan penulis banyak mendapat kesempatan dalam mengembangkan dan menggali potensi, baik dibidang akademik maupun non-akademik. Penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Mesin dengan menjabat sebagai Staff Departemen PSDM 2011-2012 dan Kepala Departemen PSDM tahun 2012-2013. Selanjutnya, saat mengerjakan tugas akhir di bawah naungan Laboratorium Metalurgi, penulis tergabung dalam *ITS Solar Car Racing Team* sebagai *Mechanical Manager*. Semoga kelak buku yang saya buat ini akan berguna demi kelangsungan penelitian material komposit pada bidang otomotif yang saat ini masih berkembang di Indonesia.



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Distribusi tegangan (a) dan tegangan geser (b) pada sumbu XY untuk material <i>epoxy carbon</i> (3 layer tanpa peredam).....	5
Gambar 2.2 Distribusi tegangan (a) dan tegangan geser (b) pada sumbu XY untuk material <i>e-glass epoxy</i> (3 layer tanpa peredam).....	6
Gambar 2.3 Chalmers formula student hybrid chassis	7
Gambar 2.4 Equivalent stress pada saat pengereman maksimal	8
Gambar 2.5 Torsional stiffness simulation setup	8
Gambar 2.6 Grafik torsional stiffness vs tebal core dan jumlah layer.....	9
Gambar 2.7 Grafik berat vs tebal core dan jumlah layer	9
Gambar 2.8 Grafik torsional stiffness/berat vs tebal core dan jumlah layer.....	10
Gambar 2.9 Komponen pada mesin pesawat yang terbuat dari komposit	11
Gambar 2.10 Klasifikasi matriks	12
Gambar 2.11 Struktur polimer, (a) linear, (b) branched, (c) cross-linked, (d) network.....	13
Gambar 2.12 Kelebihan dan kekurangan material polimer polyester, vinilester dan epoxy	14
Gambar 2.13 Klasifikasi komposit.	15
Gambar 2.14 Continuous and aligned (a), discontinuous and aligned (b) dan discontinuous randomly oriented fiber reinforced composites (c).....	16
Gambar 2.15 Woven fiber triaxial (kiri) dan biaxial (kanan)	17
Gambar 2.16 Lamina (kiri) dan laminate (kanan)	18
Gambar 2.17 Laminate Unidirectional (kiri) dan crossplied quasi-isotropic	18
Gambar 2.18 Konstruksi composite sandwich.....	19
Gambar 2.19 Perbandingan ukuran carbon fibre 6 μm (hitam) dengan rambut manusia (abu-abu).....	19
Gambar 2.20 Klasifikasi arsitektur pada carbon fiber.....	20
Gambar 2.21 Twill weave	21
Gambar 2.22 Aluminium honeycomb	22

Gambar 2.23 <i>Nomex honeycomb</i>	22
Gambar 2.24 <i>Ladder frame</i>	23
Gambar 2.25 <i>Ladder frame dengan palang X</i>	24
Gambar 2.26 <i>Tubular space frame</i>	25
Gambar 2.27 <i>Monocoque chassis</i> pada lamborghini aventador	25
Gambar 2.28 <i>Backbone chassis</i>	26
Gambar 2.29 Reaksi <i>chassis</i> ketika beban <i>torsi</i> diberikan	27
Gambar 2.30 Penampakan <i>chassis</i> akibat <i>akselerasi</i> yang besar	28
Gambar 2.31 <i>Lateral bending</i> yang terjadi pada <i>chassis</i> saat melewati jalan menikung	28
Gambar 2.32 <i>Horizontal lozenging</i>	29
Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3.2 Skema diagram alir simulasi <i>chassis</i> dan <i>body</i> Widya Wahana V	33
Gambar 3.3 Dimensi lebar Widya Wahana V.....	38
Gambar 3.4 Dimensi panjang dan tinggi Widya Wahana V	38
Gambar 3.5 <i>Body</i> dan <i>Chassis</i> Widya Wahana V	39
Gambar 3.6 <i>Body</i> atas Widya Wahana V	39
Gambar 3.7 <i>Chassis</i> Widya Wahana V.....	40
Gambar 3.8 <i>Body</i> bawah Widya Wahana V.....	40
Gambar 3.9 Distribusi beban pada <i>chassis</i>	41
Gambar 3.10 Distribusi beban pada <i>body</i> atas	42
Gambar 3.11 <i>Boundary condition</i> dan <i>loading condition</i> saat dikenai beban vertikal <i>bending</i>	44
Gambar 3.12 <i>Boundary condition</i> dan <i>loading condition</i> saat dikenai beban <i>lateral bending</i>	44
Gambar 3.13 <i>Boundary condition</i> dan <i>loading condition</i> saat dikenai beban <i>torsional bending</i> 1	45
Gambar 3.14 <i>Boundary condition</i> dan <i>loading condition</i> saat dikenai beban <i>torsional bending</i> 2.....	45
Gambar 3.15 <i>Meshing</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V	46
Gambar 3.16 <i>Layout</i> 1	46
Gambar 3.17 <i>Layout</i> 2	47
Gambar 3.18 <i>Layout</i> 3	47
Gambar 3.19 <i>Layout</i> 4.....	47
Gambar 3.20 <i>Layout</i> 5.....	48
Gambar 3.21 <i>Layout</i> 6.....	48
Gambar 3.22 <i>Layout</i> 7.....	48

Gambar 3.23	<i>Layout 8</i>	49
Gambar 3.24	<i>Layout 9</i>	49
Gambar 3.25	<i>Layout 10</i>	49
Gambar 3.26	<i>Layout 11</i>	50
Gambar 3.27	<i>Layout 12</i>	50
Gambar 3.28	<i>Layout 13</i>	50
Gambar 3.29	Skema simulasi <i>static structural</i> untuk komposit	54
Gambar 4.1	Hasil simulasi tegangan <i>von-mises</i> akibat vertikal <i>bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 1	63
Gambar 4.2	Hasil simulasi tegangan <i>von-mises</i> akibat vertikal <i>bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 2	64
Gambar 4.3	Hasil simulasi tegangan <i>von-mises</i> akibat vertikal <i>bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 3	65
Gambar 4.4	Hasil simulasi tegangan <i>von-mises</i> akibat vertikal <i>bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 4	66
Gambar 4.5	Hasil simulasi deformasi total akibat vertikal <i>bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 1	67
Gambar 4.6	Hasil simulasi deformasi total akibat vertikal <i>bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 2	68
Gambar 4.7	Hasil simulasi deformasi total akibat vertikal <i>bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 3	69
Gambar 4.8	Hasil simulasi deformasi total akibat vertikal <i>bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 4	70
Gambar 4.9	Hasil simulasi tegangan <i>von-mises</i> akibat <i>lateral bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 1	71
Gambar 4.10	Hasil simulasi tegangan <i>von-mises</i> akibat <i>lateral bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 2	72

Gambar 4.11 Hasil simulasi tegangan <i>von-mises</i> akibat <i>lateral bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 3	73
Gambar 4.12 Hasil simulasi tegangan <i>von-mises</i> akibat <i>lateral bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 4	74
Gambar 4.13 Hasil simulasi deformasi total akibat <i>lateral bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 1	75
Gambar 4.14 Hasil simulasi deformasi total akibat <i>lateral bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 2	76
Gambar 4.15 Hasil simulasi deformasi total akibat <i>lateral bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 3	77
Gambar 4.16 Hasil simulasi deformasi total akibat <i>lateral bending</i> pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V Model 4	78
Gambar 4.17 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V model 1 pada pembebanan <i>torsi</i> depan.....	79
Gambar 4.18 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V model 1 pada pembebanan <i>torsi</i> belakang.....	80
Gambar 4.19 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V model 2 pada pembebanan <i>torsi</i> depan.....	81
Gambar 4.20 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V model 2 pada pembebanan <i>torsi</i> belakang.....	82
Gambar 4.21 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V model 3 pada pembebanan <i>torsi</i> depan.....	83
Gambar 4.22 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V model 3 pada pembebanan <i>torsi</i> belakang.....	84
Gambar 4.23 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V model 4 pada pembebanan <i>torsi</i> depan.....	85
Gambar 4.24 Hasil simulasi deformasi terhadap sumbu Y pada <i>body</i> dan <i>chassis</i> Widya Wahana V model 4 pada pembebanan <i>torsi</i> belakang.....	86

Gambar 4.25 Grafik perbandingan berat <i>body</i> dan <i>chassis</i> dengan variasi model Widya Wahana V	87
Gambar 4.26 Grafik perbandingan tegangan <i>von-mises</i> akibat vertikal <i>bending</i> dengan variasi model Widya Wahana V	88
Gambar 4.27 Grafik perbandingan tegangan <i>von-mises</i> akibat vertikal <i>bending</i> dan berat dengan variasi model Widya Wahana V	89
Gambar 4.28 Grafik perbandingan deformasi total akibat vertikal <i>bending</i> pada <i>body</i> dengan variasi model Widya Wahana V	90
Gambar 4.29 Grafik perbandingan deformasi total akibat vertikal <i>bending</i> pada <i>chassis</i> dengan variasi model Widya Wahana V	91
Gambar 4.30 Grafik perbandingan tegangan <i>von-mises</i> akibat <i>lateral bending</i> dengan variasi model Widya Wahana V	92
Gambar 4.31 Grafik perbandingan tegangan <i>von-mises</i> akibat <i>lateral bending</i> dan berat dengan variasi model Widya Wahana V	93
Gambar 4.32 Grafik perbandingan deformasi total akibat <i>lateral bending</i> pada <i>chassis</i> dengan variasi model Widya Wahana V	94
Gambar 4.33 Grafik perbandingan deformasi total akibat <i>lateral bending</i> pada <i>chassis</i> dengan variasi model Widya Wahana V	95
Gambar 4.34 Grafik perbandingan <i>torsi</i> pada pembebanan depan dengan defleksi sudut puntir	96
Gambar 4.35 Grafik perbandingan <i>torsi</i> pada pembebanan belakang dengan defleksi sudut puntir	97
Gambar 4.36 Grafik perbandingan <i>torsional stiffness</i> dengan variasi model Widya Wahana V	98
Gambar 4.37 Grafik perbandingan <i>torsional stiffness</i> /berat dengan variasi model Widya Wahana V	99



Evaluasi Kekakuan dan Kekuatan Material Komposit terhadap Beban Statis Pada *Body* dan *Chassis* Widya Wahana V

Endry Zhulham Pratama dan Sutikno

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: sutikno@me.its.ac.id

Abstrak—Widya Wahana V adalah mobil tenaga surya karya mahasiswa ITS yang akan mengikuti kejuaraan *World Solar Challenge* 2015 di Australia. *Body* dan *chassis* dari Widya Wahana V menggunakan material komposit, sehingga perlu dilakukan penelitian terkait kekakuan dan kekuatan dari rancangan desain *Body* dan *chassis* Widya Wahana V. Material Widya Wahana V menggunakan *epoxy* dengan penguat *carbon fiber* ditambah aluminium *honeycomb* dan *nomex honeycomb* sebagai material inti pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode simulasi menggunakan *software finite element*. Pada penelitian ini, model Widya Wahana V dilakukan pembebanan statis berupa *torsional bending*, *vertikal bending* dan *lateral bending*. Hasil dari penelitian, didapatkan bahwa Widya Wahana V memiliki tegangan maksimal akibat *vertikal bending* sebesar 28,653 Mpa, tegangan maksimal akibat *lateral bending* sebesar 95,995 Mpa, nilai *torsional stiffness* sebesar 10.539,38 Nm/deg dan berat yang dimiliki Widya Wahana V sebesar 72,364 Kg. Nilai tersebut masih berada dibawah tegangan izin dari material, sehingga dapat dikatakan bahwa Widya Wahana V memiliki kekakuan, kekuatan dan berat yang baik.

Kata Kunci— *Aluminium honeycomb*, *epoxy-carbon fiber*, *nomex honeycomb*, *software finite element*, *Widya Wahana V*.

PENDAHULUAN

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS) sebagai salah satu perguruan tinggi negeri berbasis teknologi terbaik di Indonesia memiliki peranan penting dalam perkembangan teknologi di Indonesia. Salah satu bidang teknologi yang sedang dikembangkan oleh ITS adalah teknologi otomotif dengan sumber energi alternatif yang berasal dari tenaga matahari sejak tahun 1985. Bentuk nyata dari keseriusan ITS dalam mengembangkan teknologi otomotif tenaga matahari adalah dengan mengikuti perlombaan *World Solar Challenge* (WSC) pada tanggal 6 – 13 Oktober 2013 di Australia. *World Solar Challenge* (WSC) adalah kejuaraan tingkat internasional dalam inovasi teknologi otomotif dengan sumber tenaga yang berasal dari matahari. Kejuaraan tersebut diikuti oleh berbagai universitas ternama di dunia, kejuaraan ini berlangsung dari kota Darwin hingga kota Adelaide dengan menempuh jarak sejauh ± 3000 Km. Mobil tenaga matahari karya mahasiswa ITS diberi nama Sapu Angin Surya. Pencapaian Sapu Angin Surya pada WSC 2013 menduduki peringkat 11 pada saat kualifikasi awal dan meraih peringkat 21 dari 31 peserta dengan jarak tempuh sejauh 784 Km dengan tenaga matahari. Salah satu faktor dari

hasil yang kurang maksimal tersebut terdapat pada bobot Sapu Angin Surya yang sangat berat, yaitu ± 280 Kg dan mengakibatkan efisiensi motor listrik dari Sapu Angin Surya berkurang. Efisiensi motor listrik dapat ditingkatkan dengan cara mengurangi berat kendaraan. Evaluasi dari *body* dan *chassis* yang digunakan pada Sapu Angin Surya memiliki kekuatan dan kekakuan yang baik, akan tetapi bobot yang dimiliki masih berat sebesar 180 kg. *Body* dan *chassis* Sapu Angin Surya menggunakan material komposit.

Komposit merupakan kombinasi dari dua atau lebih material yang ditujukan menghasilkan sifat yang lebih baik. Komposit banyak digunakan karena bisa mengungguli material lain baik dari segi sifat mekanik maupun berat. Komponen material pada komposit dapat dibedakan baik secara fisik maupun kimia. Komposit terdiri dari berbagai jenis, salah satunya adalah komposit struktural *sandwich* dengan matriks polimer dengan penambahan penguat serat dan material inti untuk meningkatkan kekakuan.

Penelitian mengenai komposit sebagai material untuk *chassis* kendaraan sudah banyak dilakukan. Juvvi Siva Nagaraju dan U. Hari Babu melakukan penelitian mengenai perbandingan *chassis* kendaraan berat berbahan Carbon Epoxy dan E-Glass Epoxy dengan variasi jumlah layer dan arah sudut [1]. Carl Andersson Eurenus, Niklas Danielsson, Aneesh Khokar, Erik Krane, Martin Olofsson dan Jacob Wass melakukan penelitian mengenai *chassis* berbahan komposit *sandwich* pada *chassis* mobil Chalmers Formula Student (CFJ) [2]. Aplikasi *chassis* yang terbuat dari komposit *sandwich* dapat menurunkan bobot dari kendaraan namun tetap kuat dan kuat, sehingga efisiensi kendaraan dapat meningkat. Oleh karena itu pembuatan mobil tenaga matahari ITS selanjutnya yang diberi nama Widya Wahana V perlu dilakukan penelitian terhadap *body* dan *chassis*, desain *chassis* yang diterapkan untuk Widya Wahana V adalah *ladder chassis* dan jenis material yang dipakai adalah komposit *sandwich*. Struktur komposit *sandwich* yang digunakan adalah *epoxy resin* sebagai matriks, *carbon fiber* sebagai penguat, aluminium *honeycomb* dan *nomex honeycomb* sebagai material inti.

II. MATERIAL DAN METODE

A. Material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah epoxy resin, carbon fiber, nomex honeycomb dan aluminium

honeycomb. Berikut adalah properti dari material yang digunakan:

Tabel 1. Properti epoxy resin[3].

Density (Kg/m ³)	Tensile Modulus (Gpa)	Tensile Strength (Mpa)
1200	3,78	54,6

Tabel 2. Properti carbon fiber woven twill 3k X 3k[4].

Density	1251	Kg/m ³
Young's Modulus X Direction	59160	Mpa
Young's Modulus Y Direction	59160	Mpa
Young's Modulus Z Direction	7500	Mpa
Poisson's Ratio XY	0,04	-
Poisson's Ratio YZ	0,3	-
Poisson's Ratio XZ	0,3	-
Shear Modulus XY	17500	Mpa
Shear Modulus YZ	2700	Mpa
Shear Modulus XZ	2700	Mpa
Tensile X Direction	513	Mpa
Tensile Y Direction	513	Mpa
Tensile Z Direction	50	Mpa
Compressive X Direction	-437	Mpa
Compressive Y Direction	-437	Mpa
Compressive Z Direction	-150	Mpa
Shear XY	120	Mpa
Shear YZ	55	Mpa
Shear XZ	55	Mpa

Tabel 3. Properti nomex honeycomb[3]-[4].

Density	29	Kg/m ³
Young's Modulus X Direction	1	Mpa
Young's Modulus Y Direction	1	Mpa
Young's Modulus Z Direction	255	Mpa
Poisson's Ratio XY	0,49	-
Poisson's Ratio YZ	0,001	-
Poisson's Ratio XZ	0,001	-
Shear Modulus XY	1	Mpa
Shear Modulus YZ	37	Mpa
Shear Modulus XZ	70	Mpa
Tensile X Direction	0	Mpa
Tensile Y Direction	0	Mpa
Tensile Z Direction	0,90321	Mpa
Compressive X Direction	0	Mpa
Compressive Y Direction	0	Mpa
Compressive Z Direction	0,90321	Mpa
Shear XY	0	Mpa
Shear YZ	0,49987	Mpa
Shear XZ	0,35025	Mpa

Tabel 4. Properti aluminium honeycomb[3]-[4].

Density	83,3	Kg/m ³
Young's Modulus X Direction	18,9	Mpa
Young's Modulus Y Direction	18,9	Mpa
Young's Modulus Z Direction	1890	Mpa
Poisson's Ratio XY	0,065	-
Poisson's Ratio YZ	0,065	-
Poisson's Ratio XZ	0,01	-
Shear Modulus XY	2,96	Mpa
Shear Modulus YZ	369	Mpa
Shear Modulus XZ	217	Mpa
Tensile X Direction	0	Mpa
Tensile Y Direction	0	Mpa
Tensile Z Direction	4,5161	Mpa
Compressive X Direction	0	Mpa
Compressive Y Direction	0	Mpa
Compressive Z Direction	-4,5161	Mpa
Shear XY	0	Mpa
Shear YZ	2,4821	Mpa
Shear XZ	1,4479	Mpa

B. Metode

1.) Perhitungan Beban Vertikal

Beban vertikal dipengaruhi oleh massa yang bekerja pada *body* dan *chassis* Widya Wahana V, diantaranya yaitu:

Tabel 5. Pembebanan vertikal (g=9,81 m/s²)

No.	Nama Beban	Massa (Kg)	Berat (N)
1	Pengemudi	100	981
2	Penumpang	100	981
3	Baterai	70,436	690,978
4	Baterai Box	1,933	18,963
5	Controller	2,919	28,635
6	BMS	2,812	27,586
7	System Box	4,367	45,492
8	Charger Baterai	2,312	22,68
9	Kursi	1,175	11,527

$$W_{sprung} = \sum m_{sprung} g \quad (1)$$

2.) Perhitungan Beban Lateral

Beban lateral pada simulasi ini adalah beban saat kendaraan berbelok, diasumsikan kendaraan berbelok ke kanan dengan kecepatan 80 km/jam atau 22,22 m/s dengan radius belok 8 meter. Beban yang terjadi saat belok adalah beban vertikal dan beban inersia.

$$Beban Inersia = m \frac{v^2}{R} \quad (2)$$

Dimana m merupakan massa, v adalah kecepatan saat berbelok dan R adalah radius belok.

Tabel 6. Pembebanan akibat belok

No.	Nama Beban	Massa (Kg)	Beban Vertikal (N)	Beban Inersia (N)
1	Pengemudi	100	981	6171,6
2	Penumpang	100	981	6171,6
3	Baterai	70,436	690,978	4347,03
4	Baterai Box	1,933	18,963	119,29
5	Controller	2,919	28,635	179,98
6	BMS	2,812	27,586	173,54
7	System Box	4,367	45,492	269,51
8	Charger Baterai	2,312	22,68	142,68
9	Kursi	1,175	11,527	108

3.) Perhitungan Beban Torsi

Pengujian dengan beban ini dilakukan untuk menguji kekakuan dari *chassis*. Torsi yang diberikan bernilai :

$$T = Fxd \quad (3)$$

T merupakan torsi dan F merupakan gaya yang bekerja pada suspensi depan atau belakang pada bagian samping kanan atau samping kiri dengan nilai $0,1W_{sprung}$ hingga W_{sprung} . Sedangkan d merupakan jarak tumpuan suspensi kiri atau kanan terhadap titik tengah *chassis* pada suspensi depan atau belakang.

Tabel 7. Pembebanan pada uji torsional bending

No.	Beban (x W_{sprung}) (N)
1	0.1
2	0.2
3	0.3
4	0.4
5	0.5

4.) Perhitungan *Torsional Stiffness*

Rumus perhitungan *torsional stiffness* melalui simulasi yaitu:

$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{F \cdot B}{(\theta_d + \theta_p)} \quad (4)$$

$$\theta_d = \tan^{-1} \left(\frac{V_d}{B/2} \right) \quad (5)$$

$$\theta_p = \tan^{-1} \left(\frac{V_p}{B/2} \right) \quad (6)$$

Dimana =

K: *Torsional Stiffness* (Nm/deg)

T: *Torsi* (Nm)

F: *Vertikal Force* (N)

B: *Track Width* (m)

θ_d : Defleksi sudut pengemudi (deg)

θ_p : Defleksi sudut penumpang (deg)

V_d : Defleksi vertikal pengemudi (m)

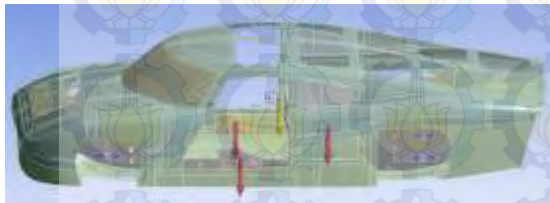
V_p : Defleksi vertikal penumpang (m)

5.) *Loading Condition* dan *Boundary Condition*

Boundary condition dan *loading condition* yang diterapkan dalam simulasi ini yaitu :

Tabel 8.
Boundary condition dan *loading condition* pada desain
body dan chassis Widya Wahana V

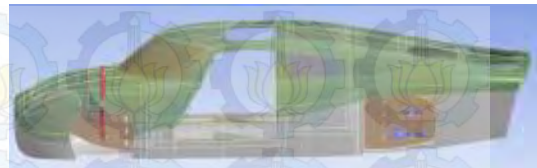
Test	Boundary Condition	Loading Condition
Vertikal Bending	Fix Support- suspensi depan dan belakang	Gaya kearah bawah pada penempatan masing-masing beban
Lateral Bending	Fix Support- suspensi depan dan belakang	Gaya kearah bawah dan ke samping pada penempatan masing-masing beban
Torsional Bending 1	Fix Support- suspensi belakang	2 gaya berlawanan arah pada suspensi depan
Torsional Bending 2	Fix Support- suspensi depan dan belakang	2 gaya berlawanan arah pada suspensi belakang



Gambar 1. *Boundary condition* dan *loading condition* saat dikenai beban vertikal bending



Gambar 2. *Boundary condition* dan *loading condition* saat dikenai beban lateral bending



Gambar 3. *Boundary condition* dan *loading condition* saat dikenai beban torsional bending 1



Gambar 4. *Boundary condition* dan *loading condition* saat dikenai beban torsional bending 2

5.) Susunan dan daerah peletakkan Material

Susunan material untuk *body* dan *chassis* dapat dilihat pada tabel 9-12, sedangkan daerah peletakkan material dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6.

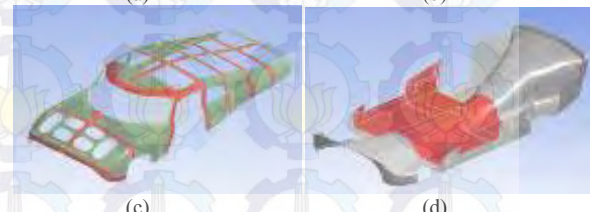
• *Body*

Tabel 9. Penyusunan material pada *body* atas

Layer	Material	Orientasi Sudut	Layout
1	Carbon fiber	45°	1
2	Nomex honeycomb 2 mm	0°	2
3	Carbon fiber	-45°	1
4	Aluminium honeycomb 10 mm	0°	3
5	Carbon fiber	45°	3

Tabel 10. Penyusunan material pada *body* bawah

Layer	Material	Orientasi Sudut	Layout
1	Carbon fiber	45°	4
2	Nomex honeycomb 2 mm	0°	4
3	Carbon fiber	-45°	4
4	Aluminium honeycomb 10 mm	0°	5
5	Carbon fiber	45°	5
6	Carbon fiber	-45°	6



Gambar 5.

(a) layout 1, (b) layout 2, (c) layout 3, (d) layout 4, (e) layout 5, (f) layout 6

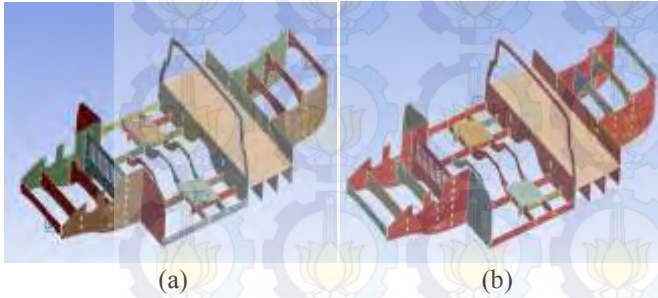
- Chassis

Tabel 11. Penyusunan material pada *chassis* tipe 1

Layer	Material	Orientasi Sudut	Layout
1	Carbon fiber	45°	7
2	Aluminium honeycomb 10 mm	0°	7
3	Carbon fiber	-45°	7

Tabel 12. Penyusunan material pada *chassis* tipe 2

Layer	Material	Orientasi Sudut	Layout
1	Carbon fiber	45°	8
2	Aluminium honeycomb 10 mm	0°	8
3	Carbon fiber	-45°	8



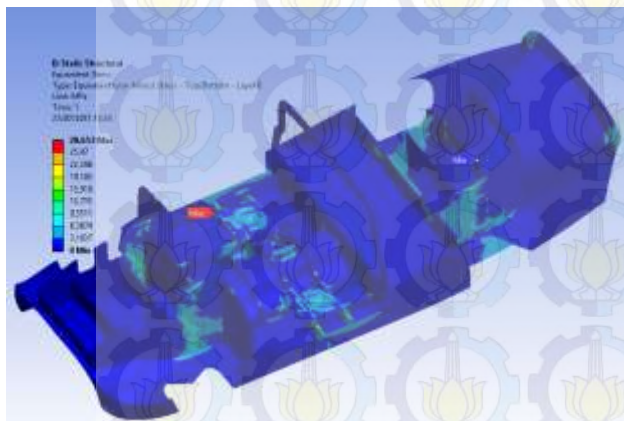
Gambar 6. (a) layout 7, (b) layout 8

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

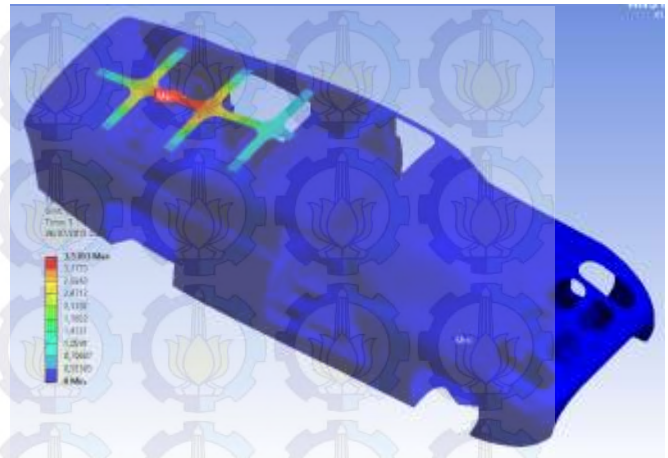
A. Vertikal Bending



Gambar 7. Distribusi tegangan pada Widya Wahana model 1 (full body) akibat vertikal bending



Gambar 8. Distribusi tegangan pada Widya Wahana model 1 (open top body) akibat vertikal bending

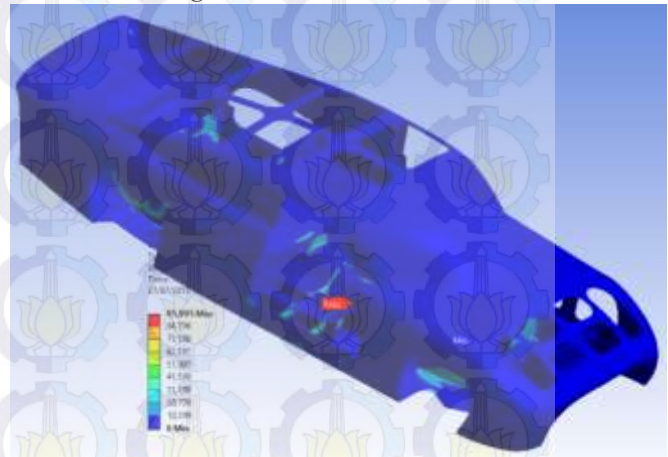


Gambar 9. Deformasi total pada Widya Wahana model 1 akibat vertikal bending

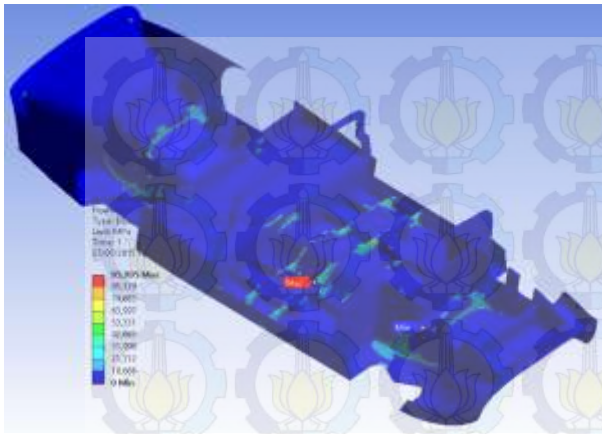
Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap Widya Wahana V, diketahui bahwa persebaran tegangan pada *body* berada pada daerah atas tempat peletakkan panel surya dan daerah kupingan pintu atas, sedangkan pada daerah bawah persebaran tegangannya lebih sedikit dan lebih kecil nilainya. Persebaran tegangan yang terjadi di *chassis* terjadi pada daerah pemasangan kaki-kaki, daerah ruang kemudi dan kursi. Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 28,653 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian bawah kursi pengemudi. Tegangan maksimal sebesar itu masih berada dibawah tegangan izin material, sehingga menunjukkan bahwa Widya Wahana V memiliki kekuatan yang sangat baik.

Dari hasil simulasi *vertikal bending* terhadap Widya Wahana V diketahui bahwa deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 3,5303 mm pada daerah *body* atas tempat peletakkan panel surya. Dikarenakan hasil deformasi yang masih cukup besar pada bagian tersebut, maka untuk mengurangi deformasi yang terjadi perlu diberi tambahan penguat atau perubahan ukuran dan bentuk lubang pada bagian atas. Sedangkan didaerah lainnya mengalami deformasi yang sangat kecil sekali.

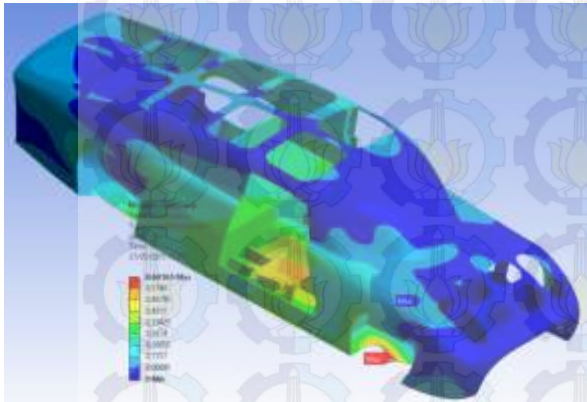
B. Lateral Bending



Gambar 10. Distribusi tegangan pada Widya Wahana model 1 (full body) akibat lateral bending



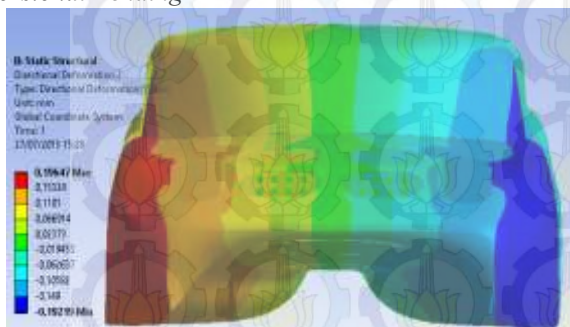
Gambar 11. Distribusi tegangan pada Widya Wahana model 1 (open top body) akibat lateral bending



Gambar 12. Deformasi total pada Widya Wahana model 1 akibat lateral bending

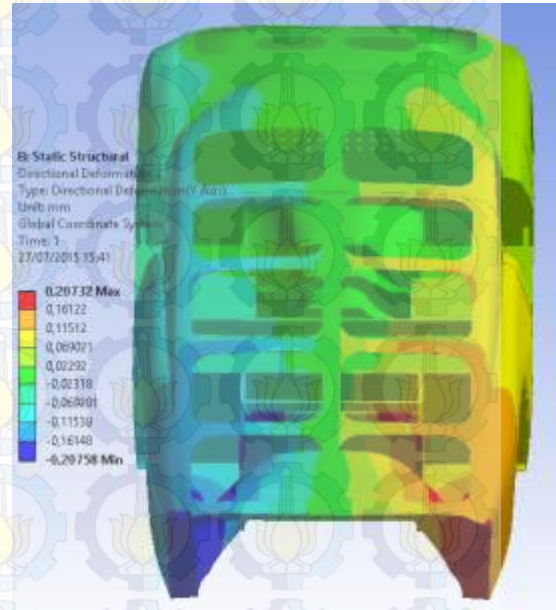
Dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap Widya Wahana diketahui bahwa persebaran tegangan *von-mises* yang terjadi berada pada daerah *chassis*, sedangkan untuk bagian *body* tegangan *von-mises* yang terjadi sangat kecil. Tegangan maksimal yang terjadi sebesar 95,995 Mpa pada *chassis* yang berada pada bagian bawah kursi pengemudi. Tegangan maksimal sebesar itu masih berada dibawah tegangan izin material dan dari hasil simulasi *lateral bending* terhadap Widya Wahana V diketahui bahwa deformasi terjadi diseluruh bagian mobil, deformasi total maksimal yang terjadi sebesar 0,60165 mm pada daerah body bawah. sehingga menunjukkan bahwa Widya Wahana V mampu berbelok dengan radius 8 meter pada kecepatan 80 km/jam dengan baik

C. Torsional Bending



Gambar 13. Deformasi terhadap sumbu Y pada body dan chassis Widya Wahana V model 1 pada pembebanan torsi depan

Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap Widya Wahana V dengan pemberian beban puntir pada bagian depan sebesar 936,15 N mengalami deformasi terhadap sumbu Y sebesar 0,19647 mm pada bagian depan sisi kanan dengan arah deformasi ke atas dan pada bagian depan sisi kiri sebesar 0,19219 mm dengan arah deformasi ke bawah. Deformasi terjadi disemua bagian dari *body* dan *chassis* Widya Wahana V. Berdasarkan rumus (4), maka didapatkan *torsional stiffness* akibat pembebanan depan sebesar 10.539,38 Nm/deg. Maka dapat dikatakan Widya Wahana V memiliki kekakuan yang baik dengan melihat besaran deformasi dan *torsional stiffness* yang dimiliki.



Gambar 14. Deformasi terhadap sumbu Y pada body dan chassis Widya Wahana V model 1 pada pembebanan torsi belakang

Dari hasil simulasi *torsional bending* terhadap Widya Wahana V dengan pemberian beban puntir pada bagian belakang sebesar 1294,27 N mengalami deformasi terhadap sumbu Y sebesar 0,20732 mm pada bagian belakang sisi kanan dengan arah deformasi ke atas dan pada bagian belakang sisi kiri sebesar 0,20758 mm dengan arah deformasi ke bawah. Deformasi terjadi disemua bagian dari *body* dan *chassis* Widya Wahana V. Berdasarkan rumus (4), maka didapatkan *torsional stiffness* akibat pembebanan belakang sebesar 13.645,87 Nm/deg. Maka dapat dikatakan Widya Wahana V memiliki kekakuan yang baik dengan melihat besaran deformasi dan *torsional stiffness* yang dimiliki.

D. Berat Body dan Chassis Widya Wahana V

Tabel 12. Rincian berat *body* dan *chassis* Widya Wahana V

Berat Body (Kg)	Berat Chassis (Kg)	Berat Total (Kg)
42,166	30,198	72,364

Berdasarkan mobil tenaga surya sebelumnya "Sapu Angin Surya" yang memiliki berat *body* dan *chassis* sebesar 180 Kg. Maka dapat dilihat bahwa terjadi penurunan drastis pada Widya Wahana V yang jauh lebih ringan, dengan berat total *body* dan *chassis* sebesar 72,364 Kg.

IV. KESIMPULAN

Widya Wahana V memiliki tegangan maksimal akibat vertikal *bending* sebesar 28,653 Mpa, tegangan maksimal akibat *lateral bending* sebesar 95,995 Mpa, nilai *torsional stiffness* sebesar 10.539,38 Nm/deg dan berat yang dimiliki Widya Wahana V sebesar 72,364 Kg. Nilai tersebut masih berada dibawah tegangan izin dari material, sehingga dapat dikatakan bahwa Widya Wahana V memiliki kekakuan, kekuatan dan berat yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis E.Z.P (inisial) mengucapkan terima kasih kepada ITS Solar Car Racing team yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini serta ucapan terima kasih kepada dosen-dosen pembimbing yang telah terlibat langsung dalam pengembangan mobil tenaga surya "Widya Wahana V".

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nagaraju, J.S., dan Babu, U.H. 2012. "*Design and Structural Analysis of Heavy Vehicle Chassis Frame Made of Composite Material by Varying Reinforcement Angles of Layers*". Ongole: QIS College of Engineering & Technology.
- [2] Eurenus, C.A. dkk. 2013. "*Analysis of Composite Chassis*". Goteborg: Chalmers University of Technology.
- [3] Easycomposites.co.uk/Category/Core-Materials.aspx (24 maret 2015)
- [4] Engineering Data Resource. *Software Finite Element*

EVALUASI KEKAKUAN DAN KEKUATAN MATERIAL KOMPOSIT TERHADAP BEBAN STATIS PADA *BODY DAN CHASSIS WIDYA WAHANA V*

Disusun oleh : Endry Zhulham Pratama
NRP : 2110-100-099
Dosen Pembimbing : DR. Eng. Sutikno, ST., MT.
Laboratorium : Metalurgi

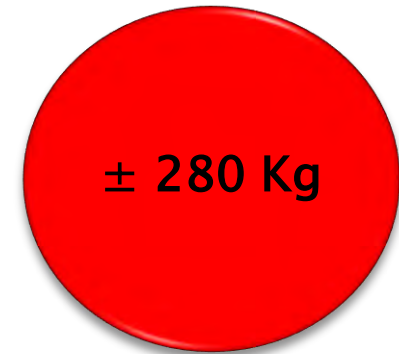


Latar Belakang

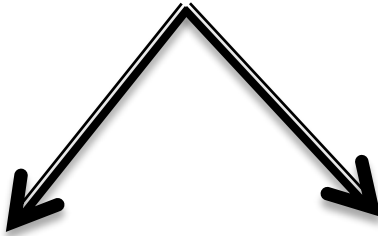


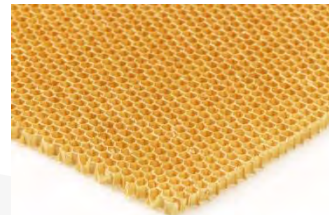
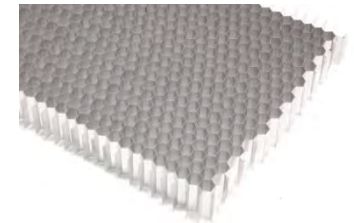
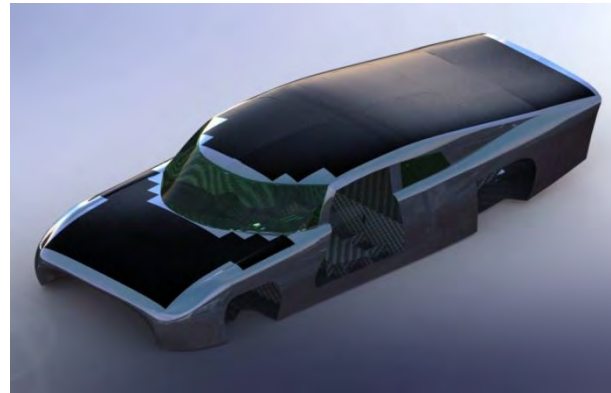
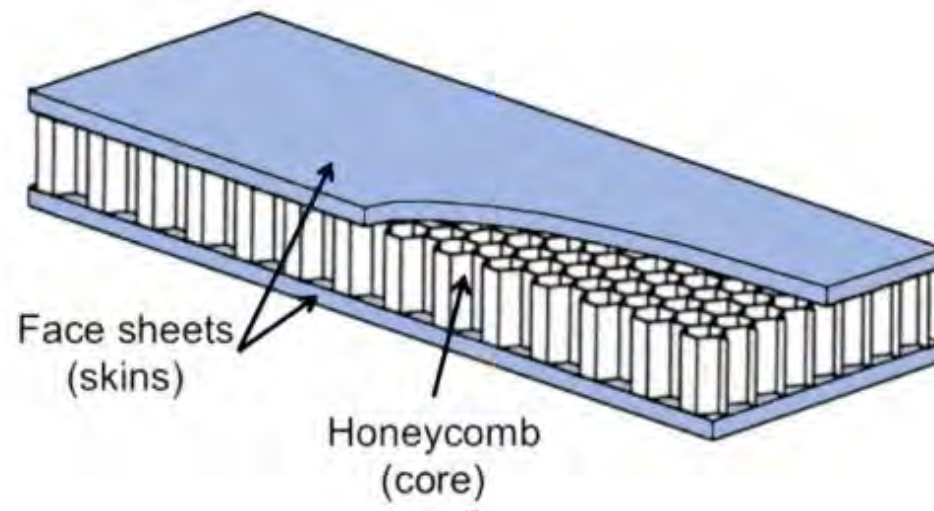
$784 Km$
 $\pm 3000 Km$

Evaluasi Berat
 $\pm 280 Kg$



**± 180 kg
Body dan Chassis !!**

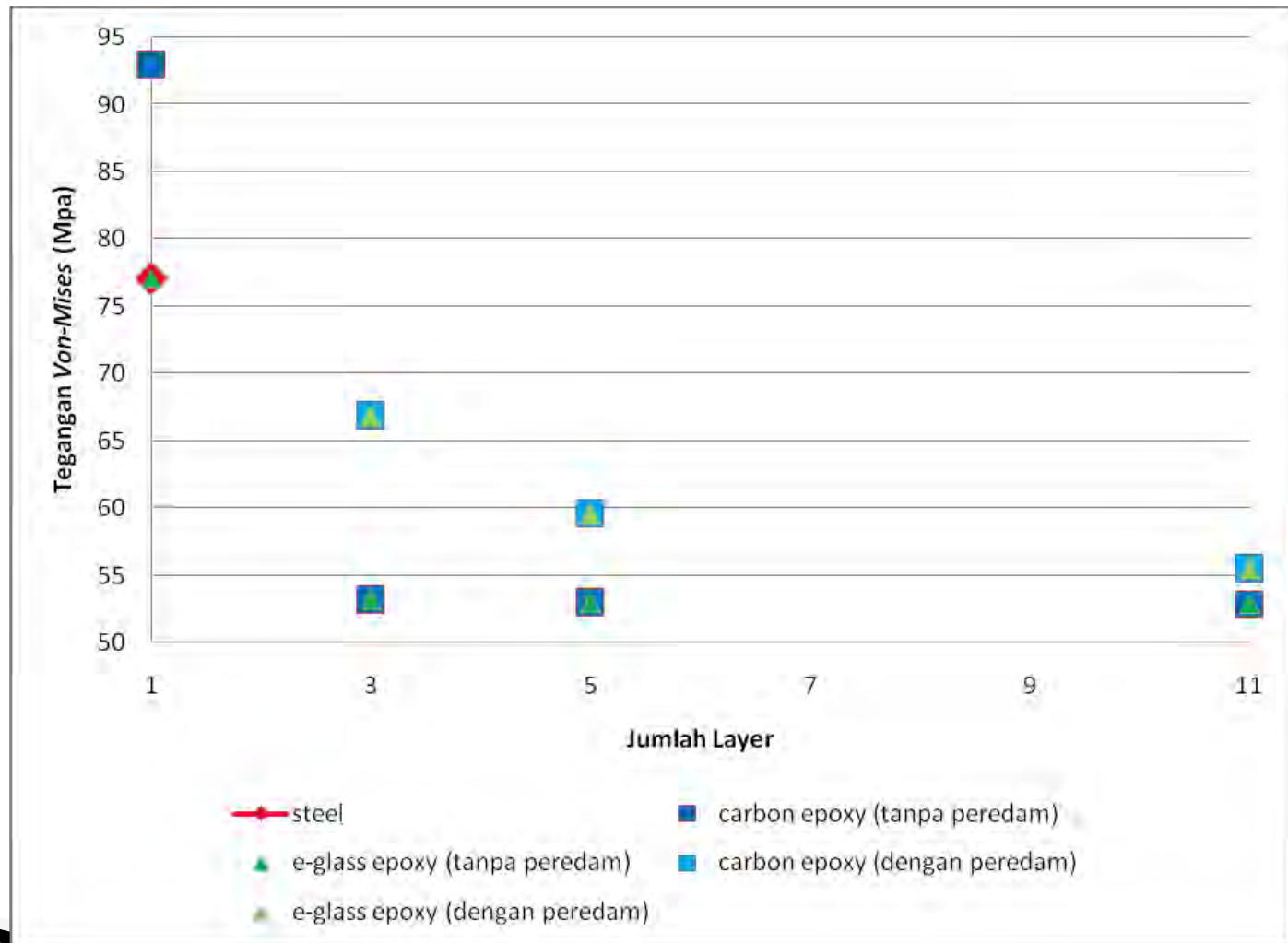




Juvvi Siva Nagaraju dan U. Hari Babu (2012)

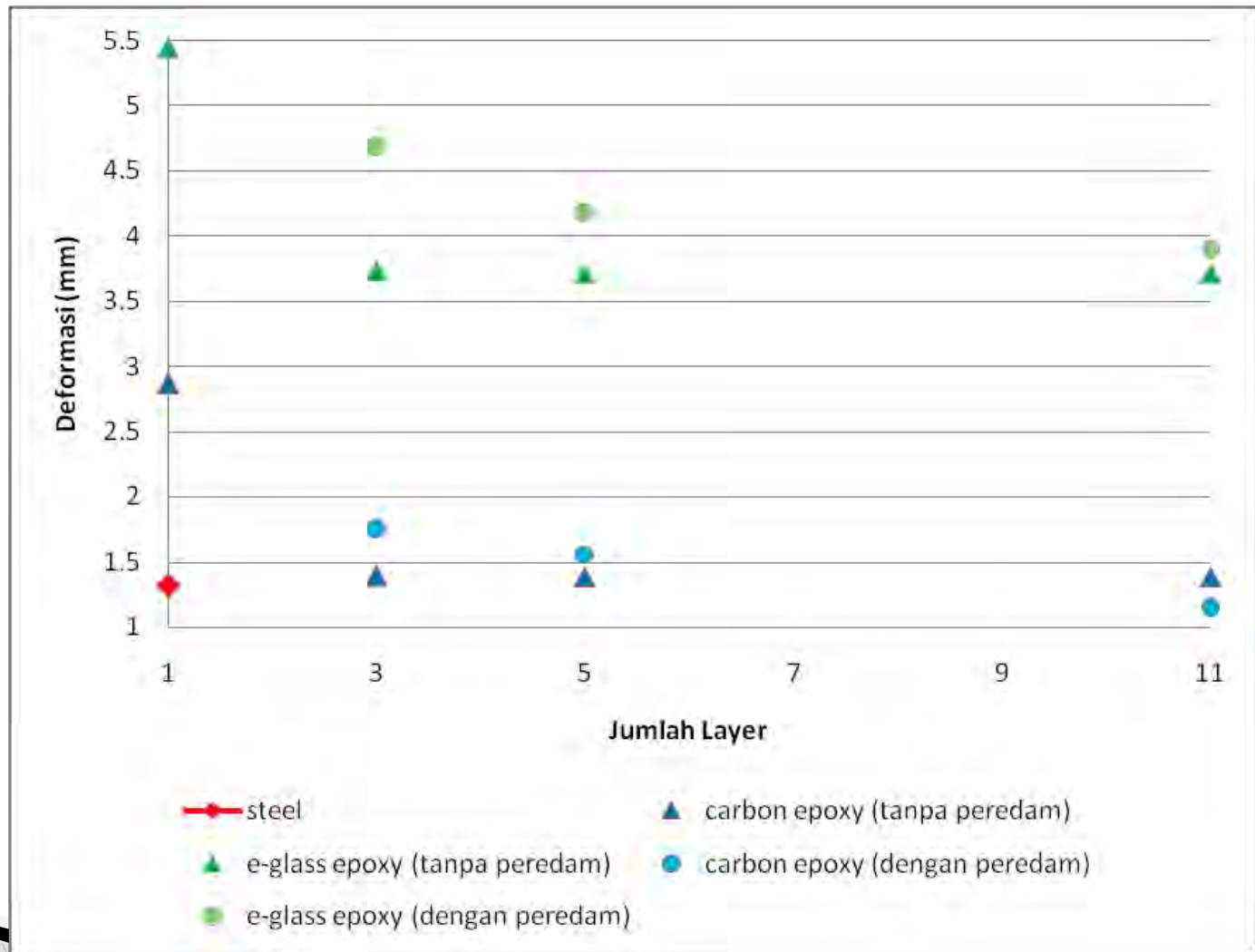
“Design and Structural Analysis of Heavy Vehicle Chassis Frame Made of Composite Material by Varying Reinforcement Angles of Layers”

➤ Tegangan *Von-Mises*



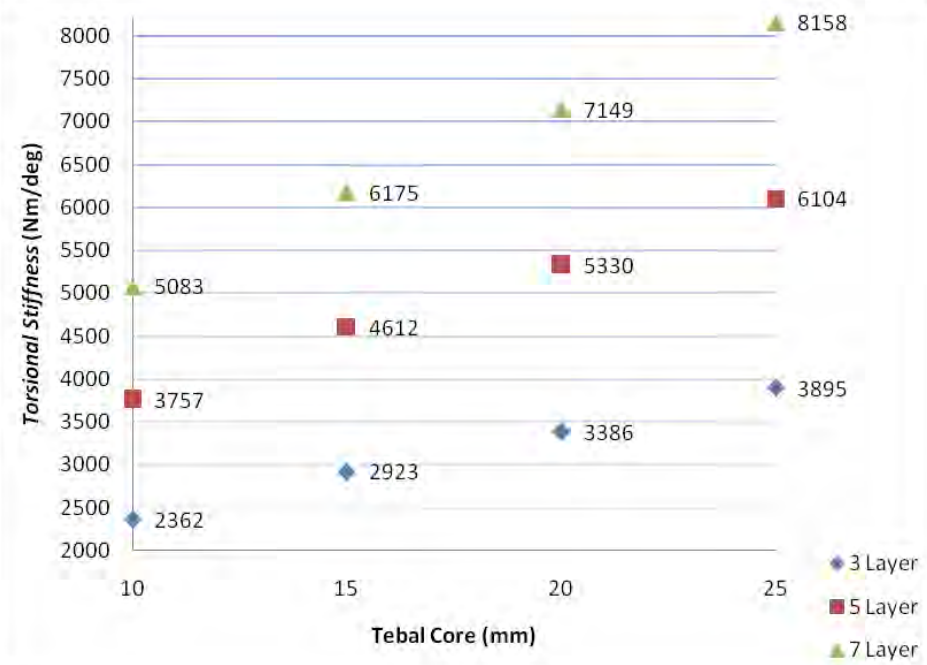
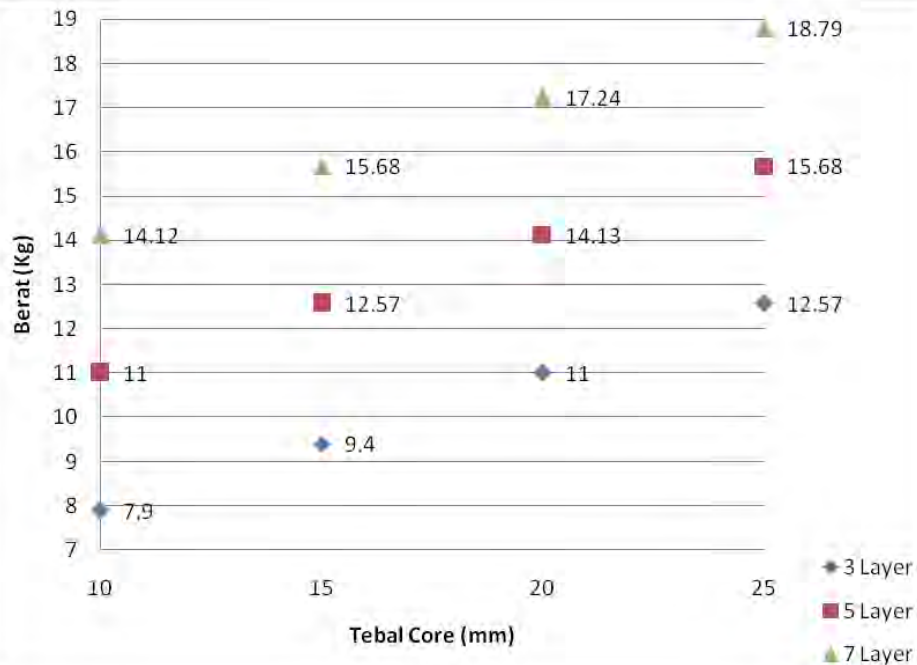
“Design and Structural Analysis of Heavy Vehicle Chassis Frame Made of Composite Material by Varying Reinforcement Angles of Layers”

➤ Deformasi



Carl Andersson Eurenus, dkk (2013)

"Analysis of Composite Chassis"

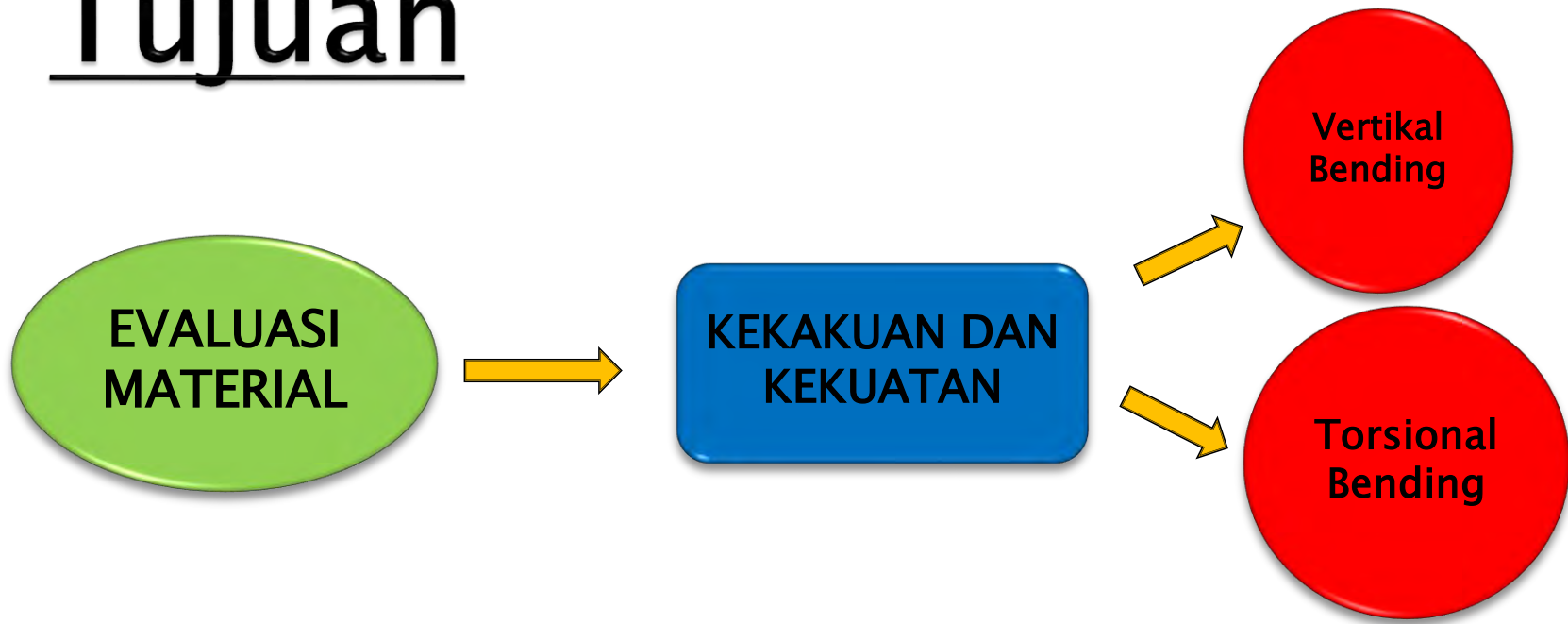


Rumusan Masalah



Kemampuan material *composite sandwich* dalam menerima beban statis berupa *torsional bending* dan vertikal *bending* untuk aplikasi *body* dan *chassis* Widya Wahana V akan dievaluasi.

Tujuan



1. Mengevaluasi kekakuan dan kekuatan material *epoxy* dengan penguat *carbon fibre* ditambah aluminium *honeycomb* dan *nomex honeycombs* sebagai material inti terhadap berat dalam menerima beban statis berupa *torsional bending* dan vertikal *bending* pada masing-masing model.
2. Memberikan rekomendasi model Widya Wahana V yang dapat digunakan sebagai rancangan Widya Wahana V untuk *World Solar Challenge 2015*.

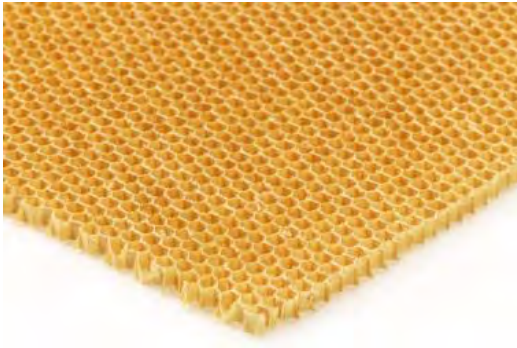
Batasan Masalah

1. Berat rancangan *body* dan *chassis* maksimal sebesar 80kg.

2. Massa yang terlibat dalam simulasi:

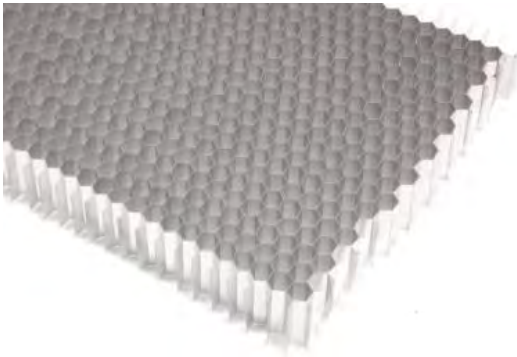
- | | |
|---------------------------------------|--------------|
| a. Penumpang | : 2 x 100 kg |
| b. Baterai + <i>Box</i> | : 72,369 kg |
| c. <i>Charger dan controll system</i> | : 13,066 kg |
| d. Panel Surya | : 11,26 kg |
| e. Kursi | : 1,175 kg |

3.



Tebal 2 mm

4.

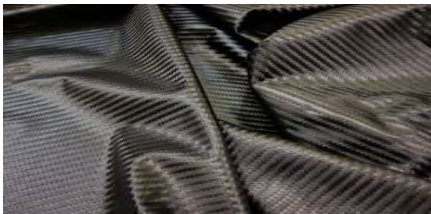


Tebal 10 mm



Tebal 20 mm

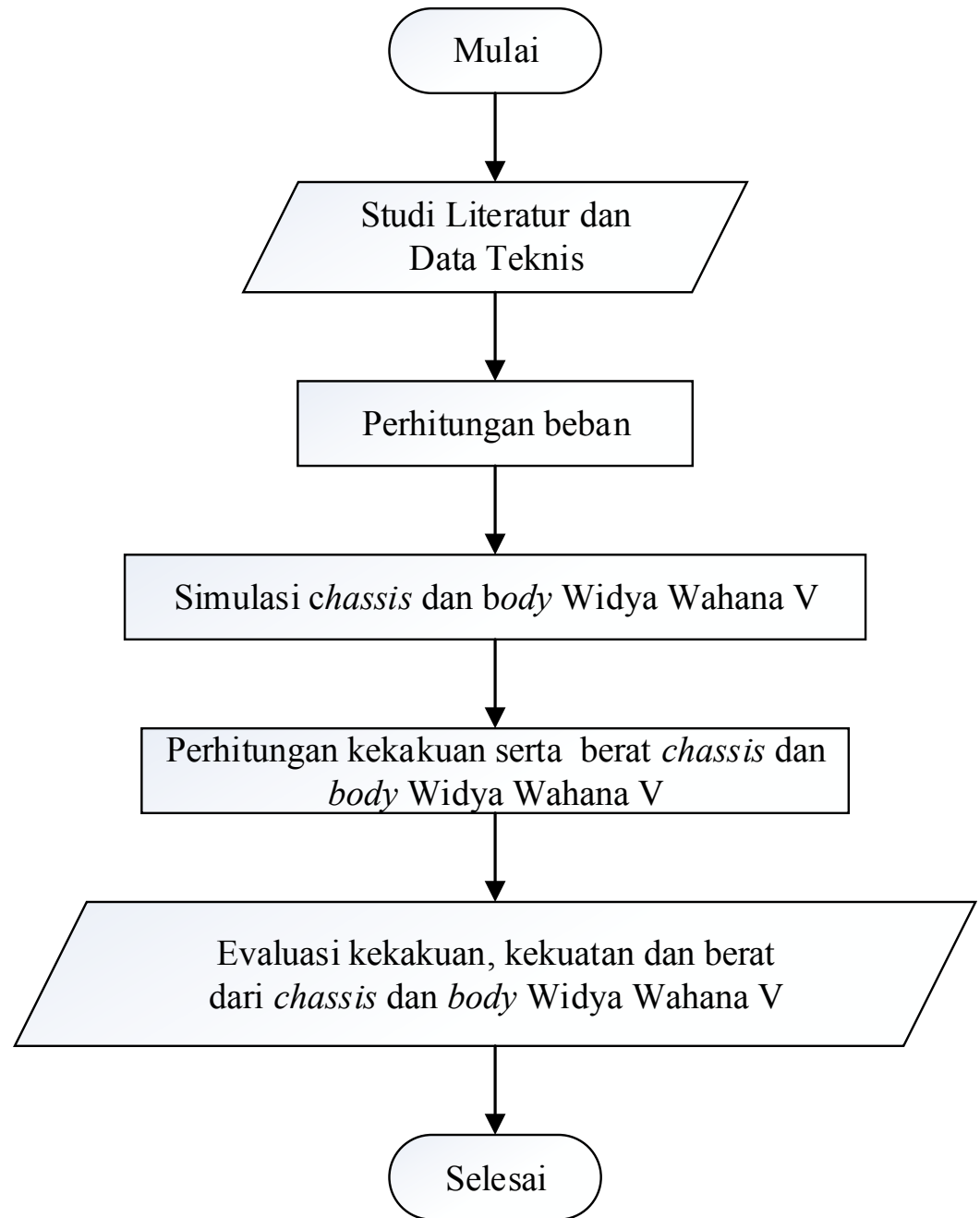
5.



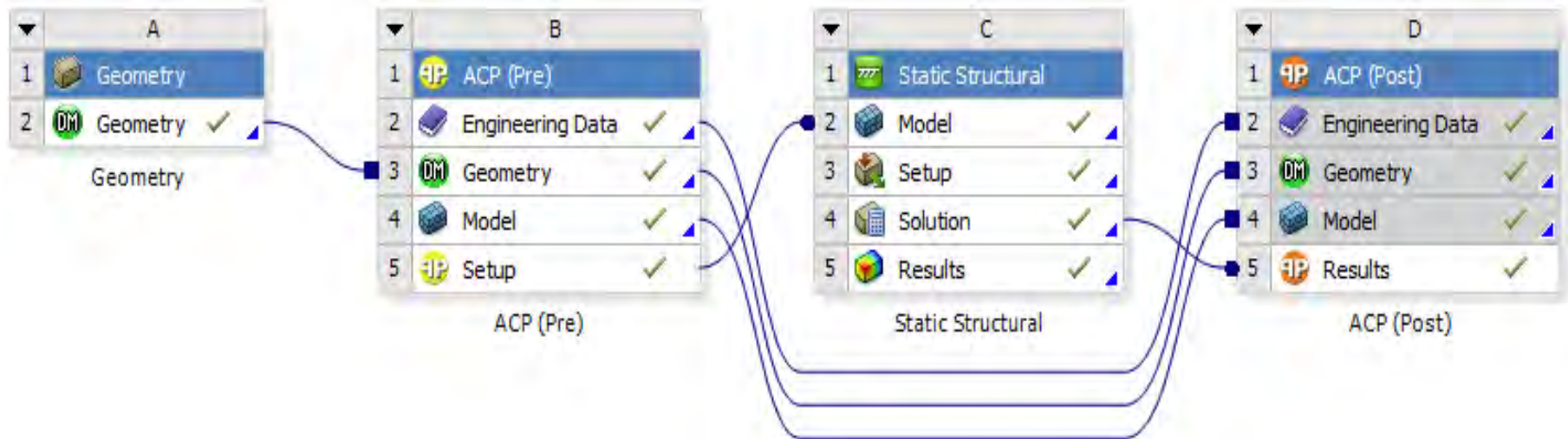
(45° dan -45°)

6. Tebal lem epoxy = 0,6 mm

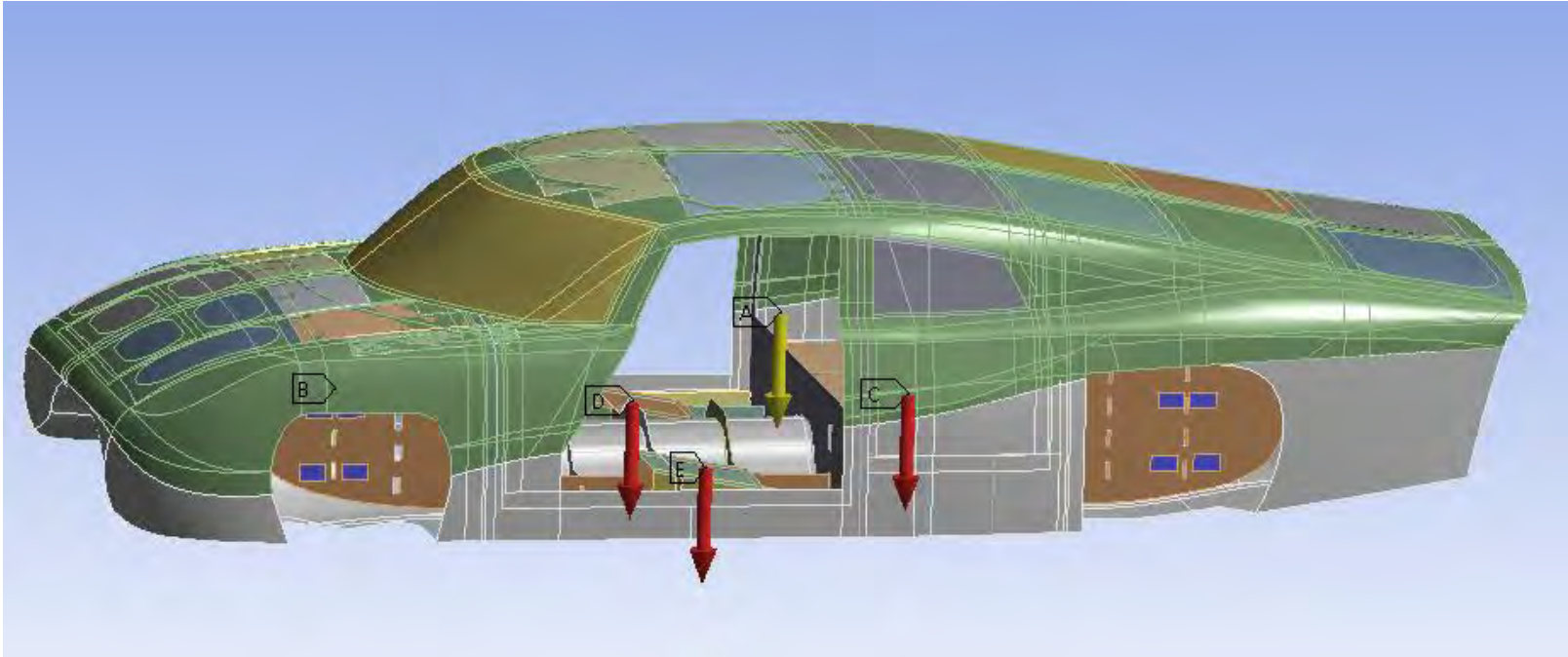
Diagram Alir Penelitian



Alur Simulasi



Vertikal Bending



Keterangan:

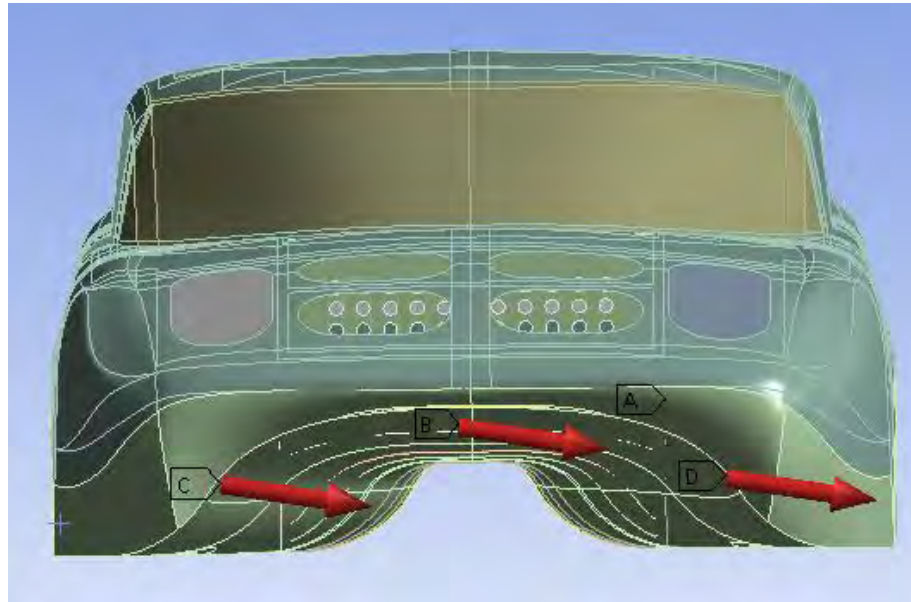
A= Gaya Gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

B= *Fix Support*

C= Beban baterai, controller, BMS, charger dan box system

D & E= Beban pengemudi dan penumpang

Lateral Bending



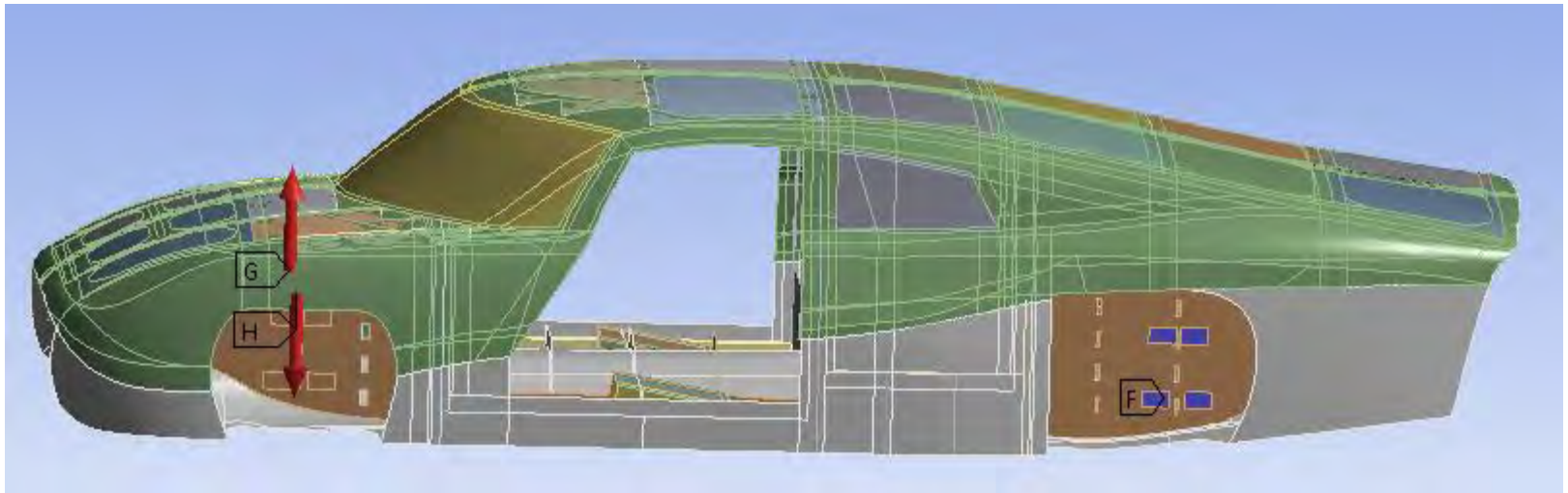
Keterangan:

A= *Fix Support*

B= Beban lateral pada baterai, controller, BMS, charger dan box system

C & D= Beban lateral pada pengemudi dan penumpang

Torsional Bending 1



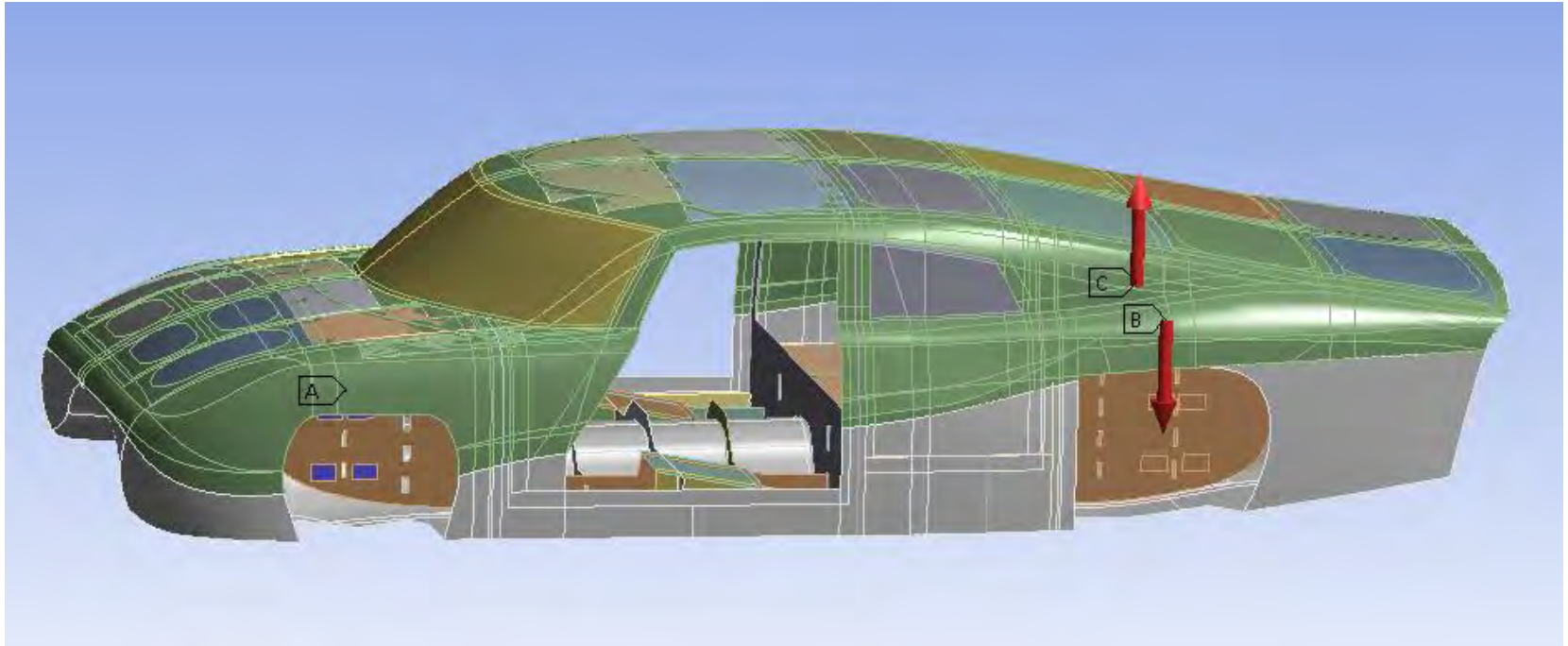
Keterangan:

F= *Fixed support*

G= Gaya pada suspensi depan kiri

H= Gaya pada suspensi depan kanan

Torsional Bending 2



Keterangan:

A= *Fixed support*

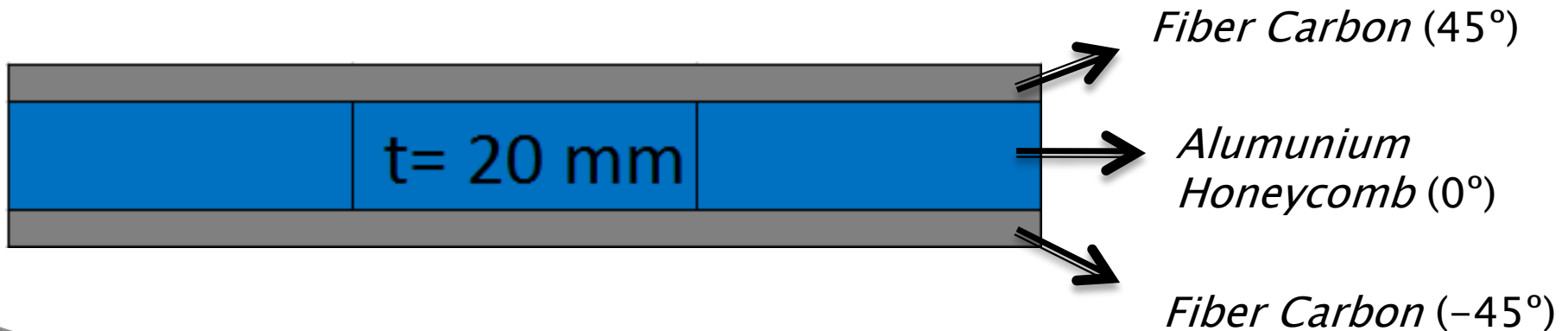
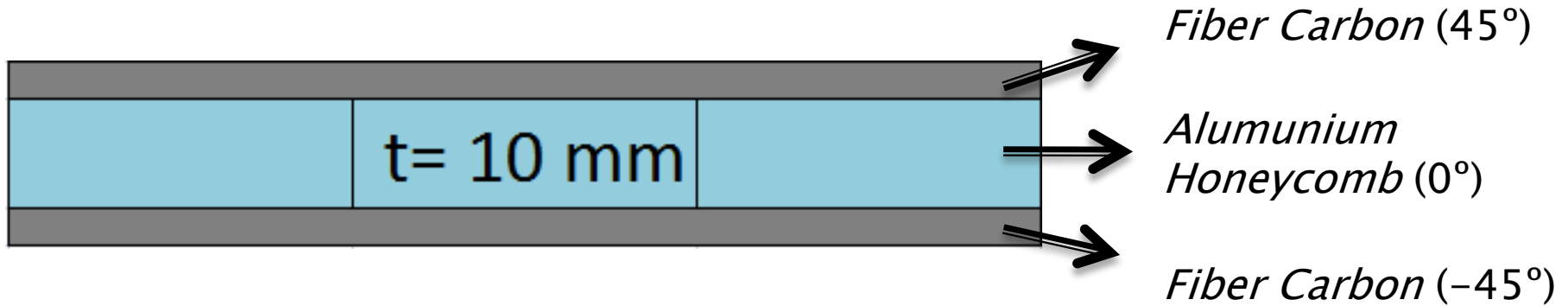
B= Gaya pada suspensi belakang kiri

C= Gaya pada suspensi belakang kanan

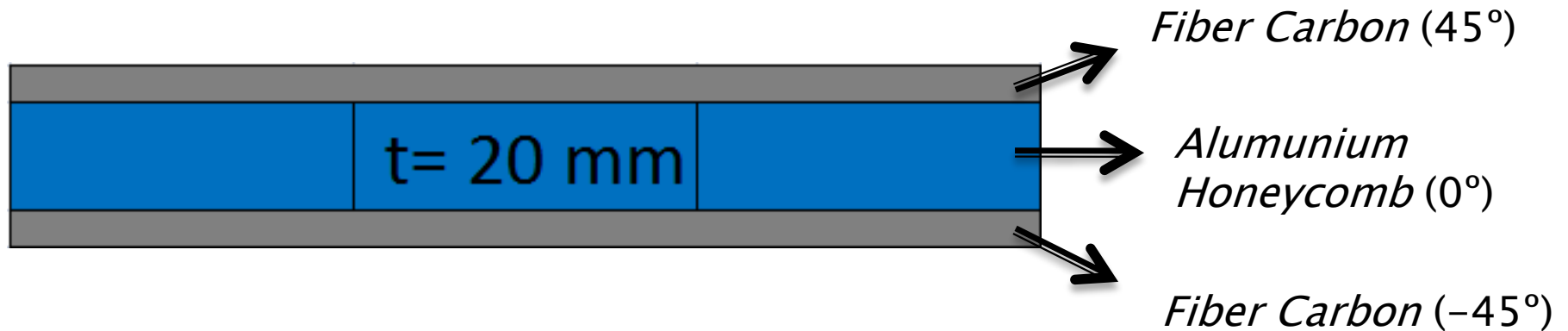
Variasi Model Widya Wahana V

Model	Komponen Penyusun	
1	Seluruh Komponen Susunan Tetap	<i>Chassis</i> Tipe 1
2	Seluruh Komponen Susunan Tetap	<i>Chassis</i> Tipe 2
3	Seluruh Komponen Susunan Tetap	<i>Chassis</i> Tipe 3
4	Seluruh Komponen Susunan Tetap	<i>Chassis</i> Tipe 4

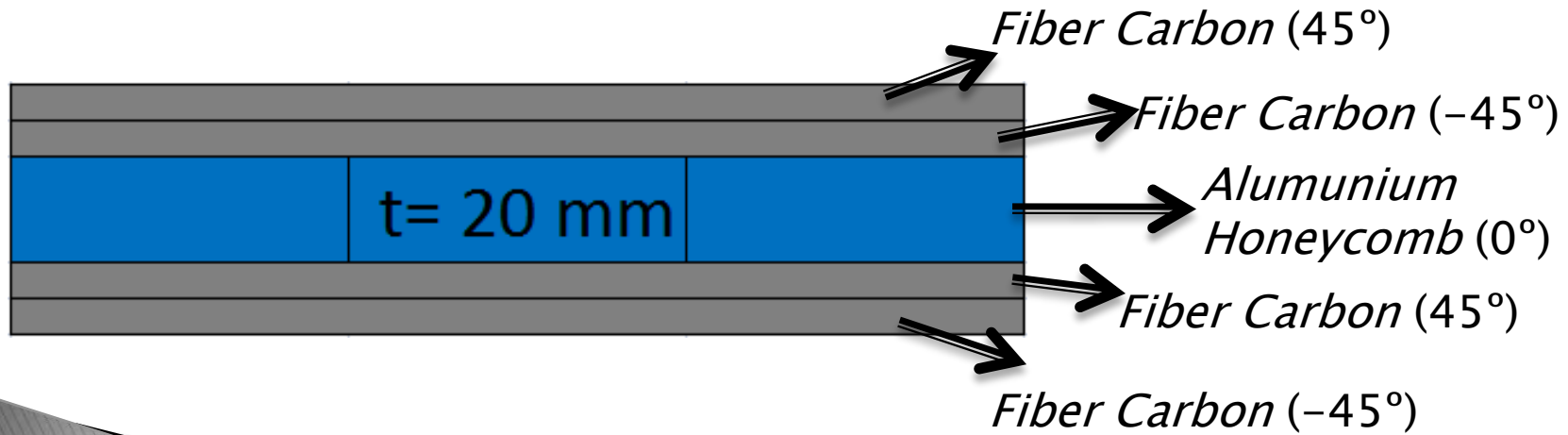
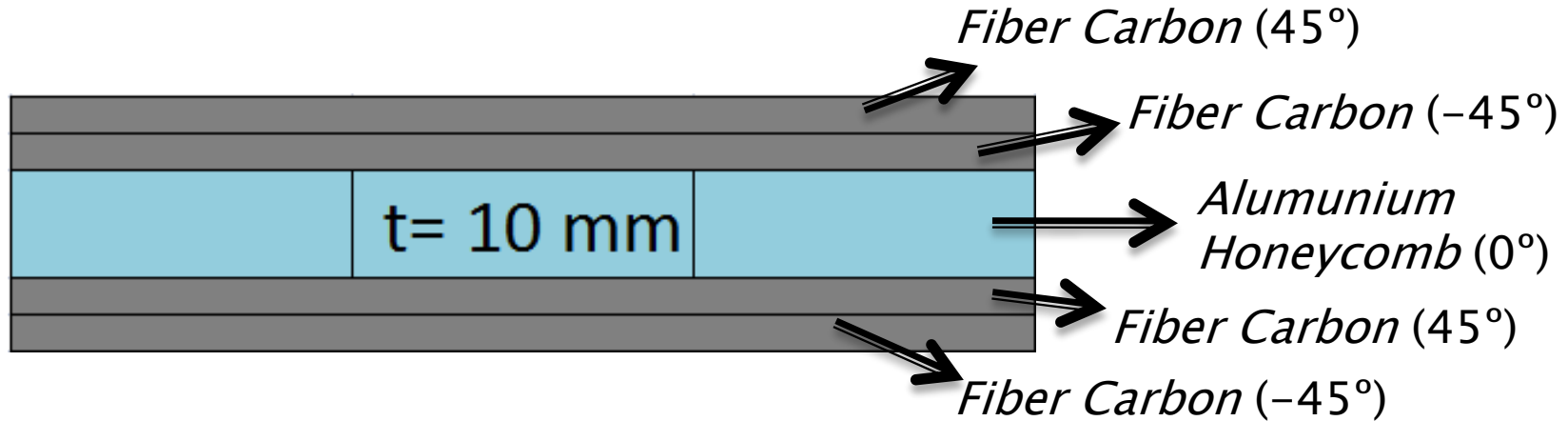
Chassis Tipe 1



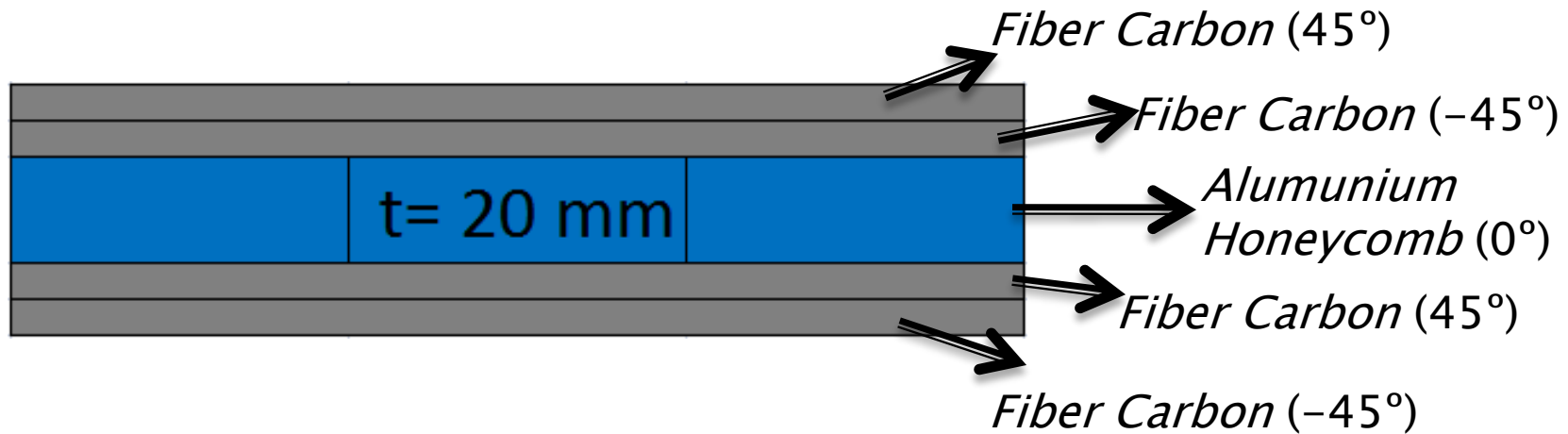
Chassis Tipe 2



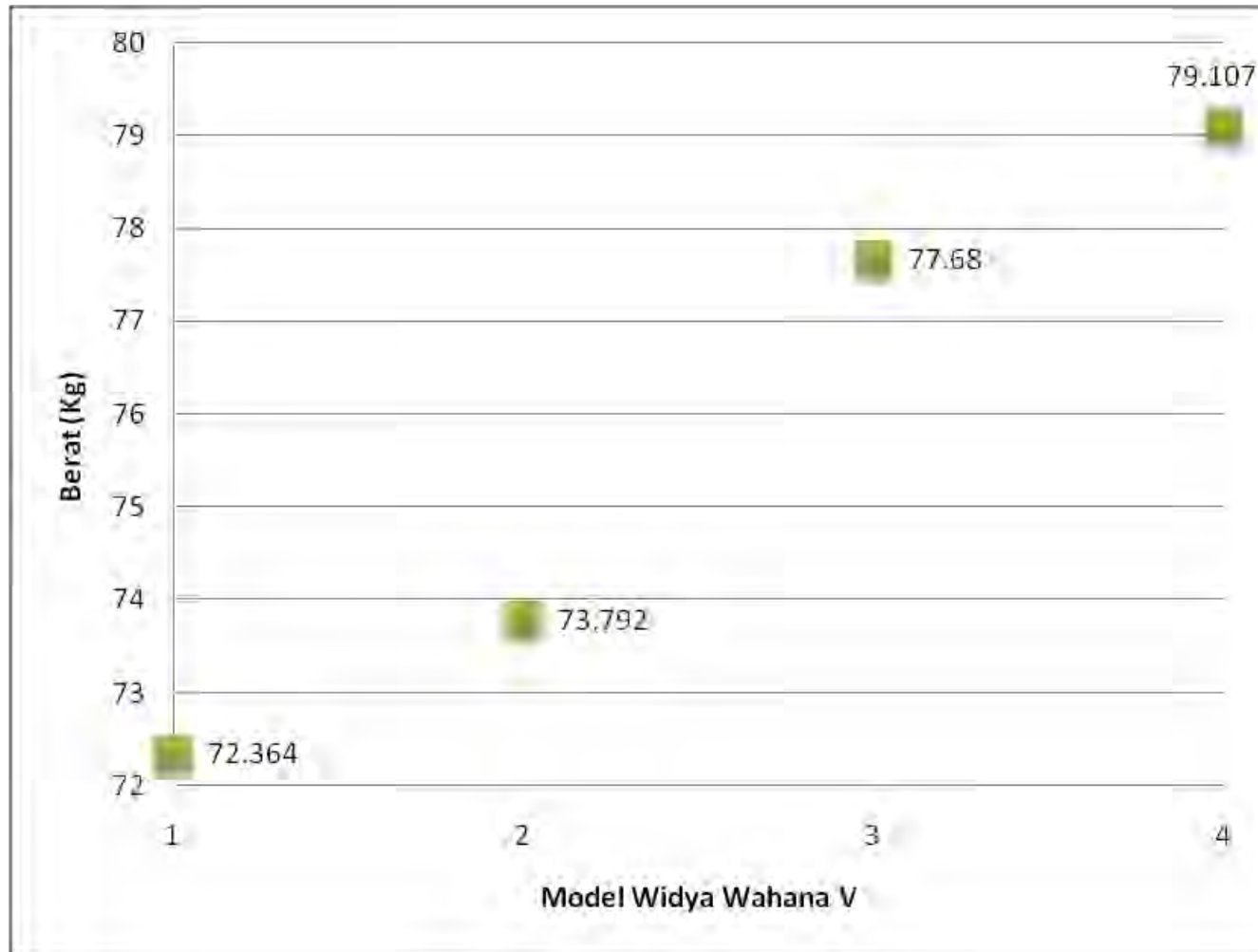
Chassis Tipe 3



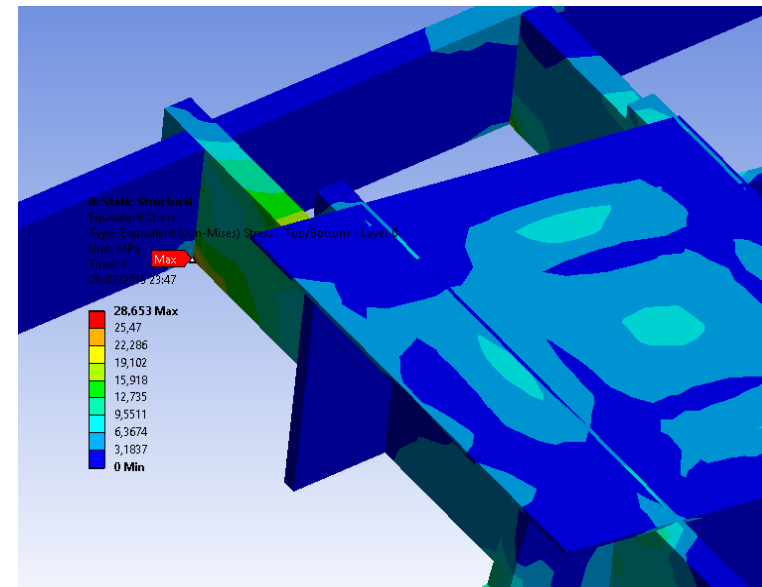
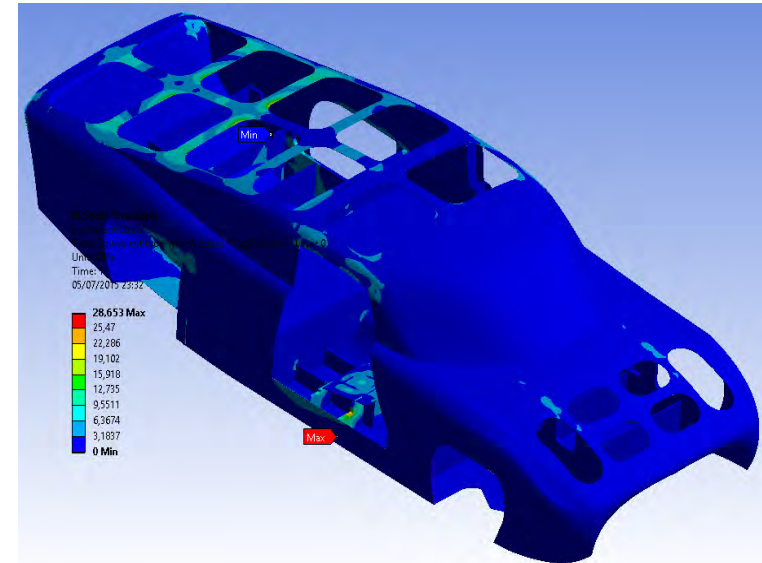
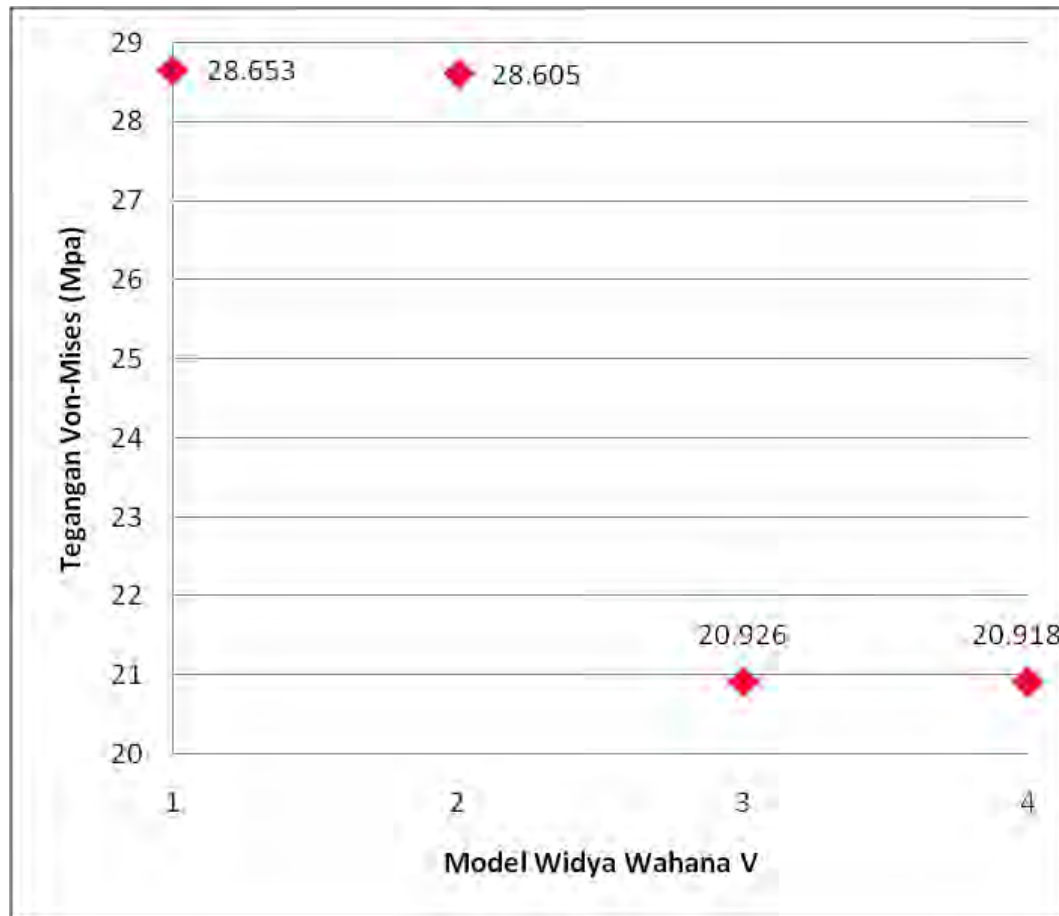
Chassis Tipe 4



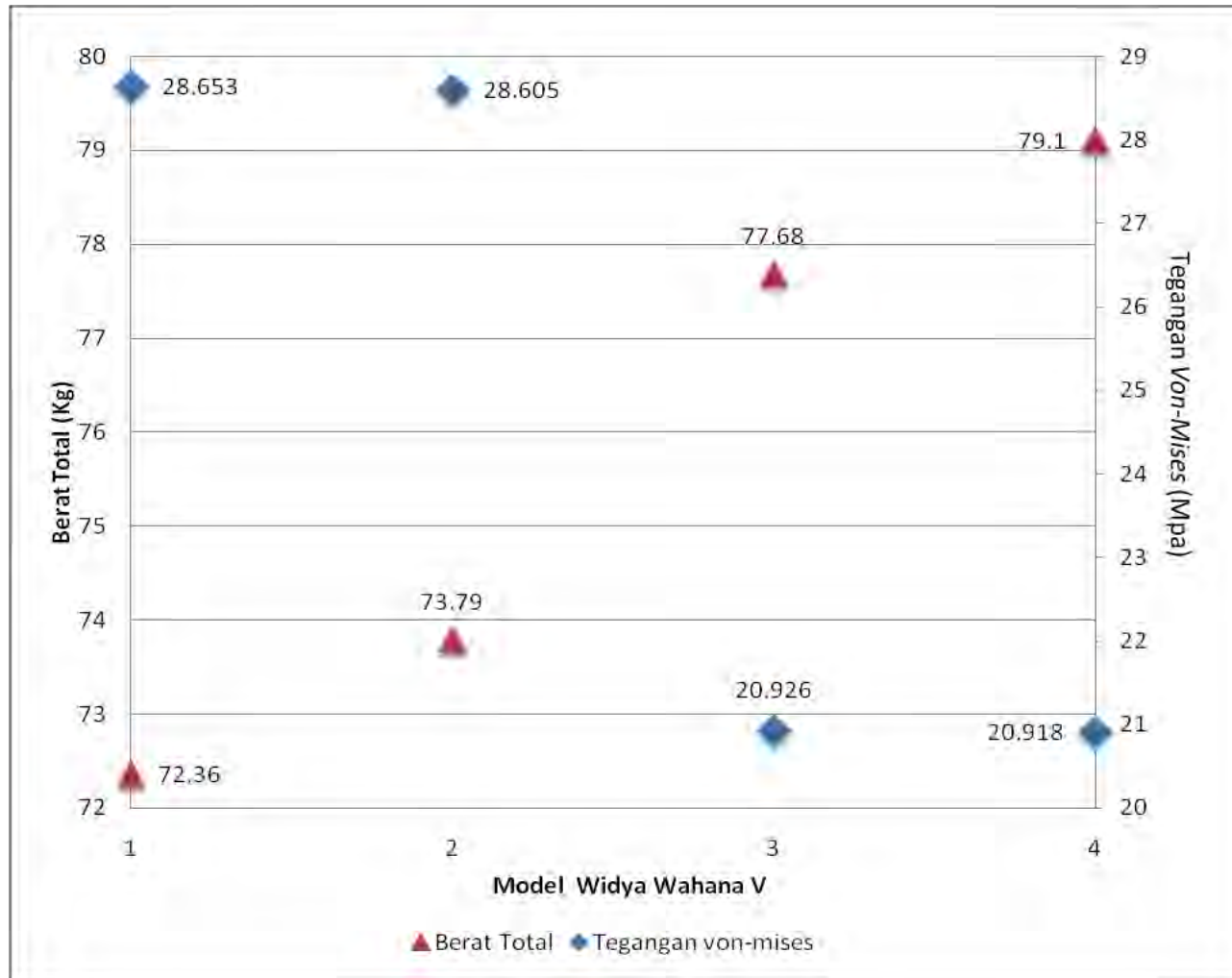
Grafik Berat – Variasi Model



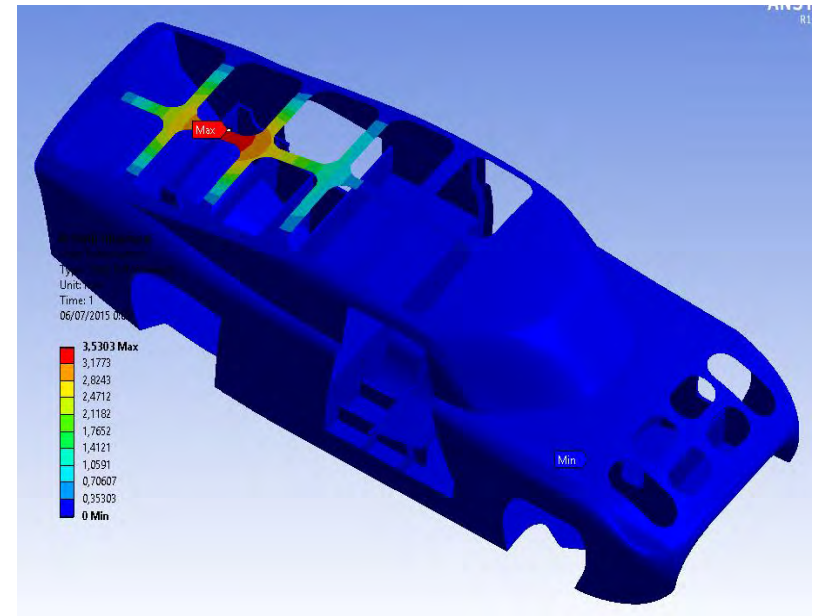
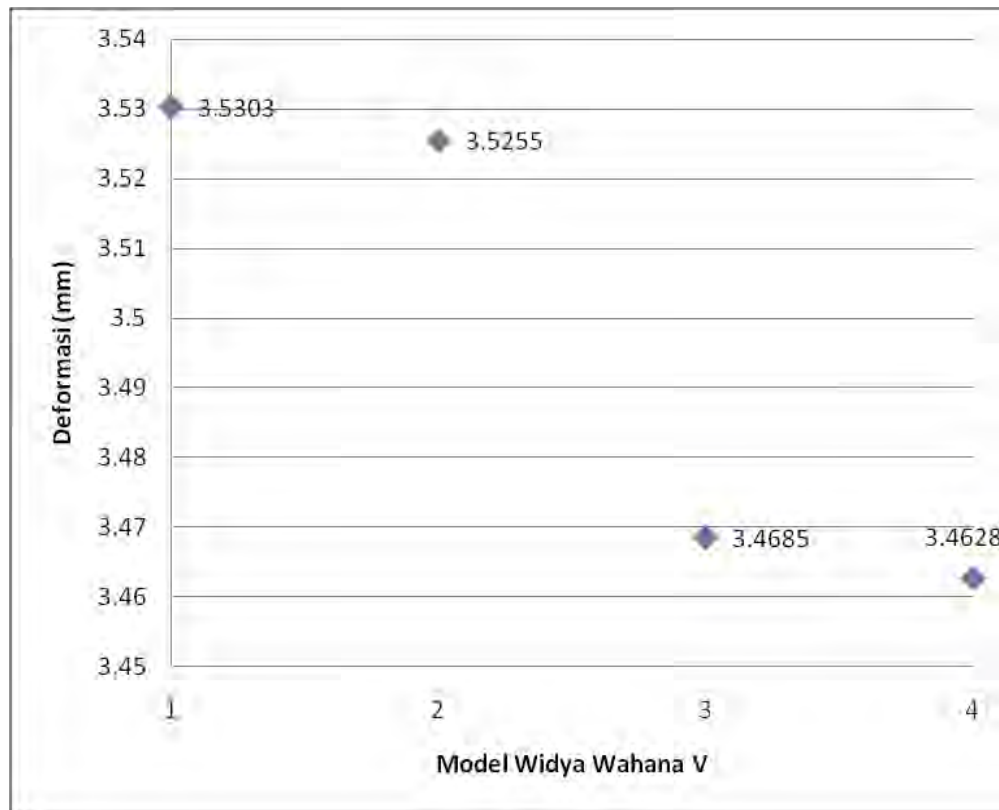
Grafik Tegangan *Von Mises* (vertikal bending) – Variasi Model



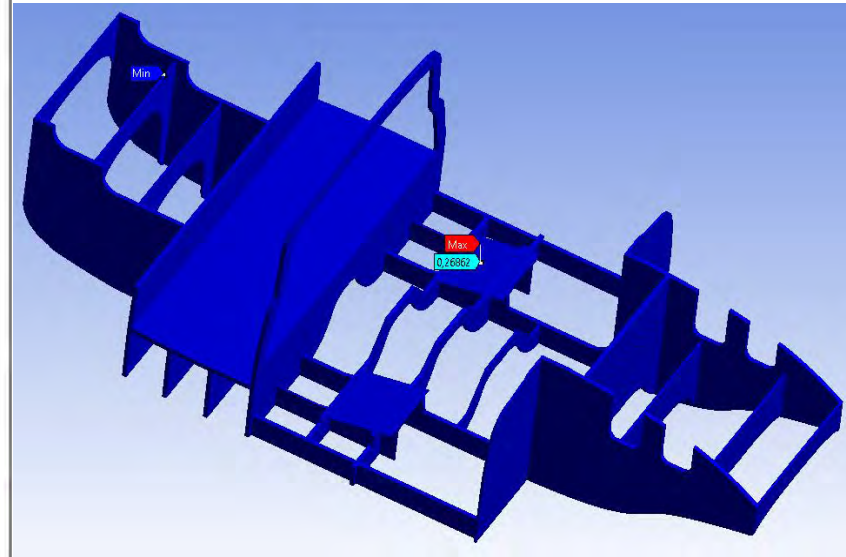
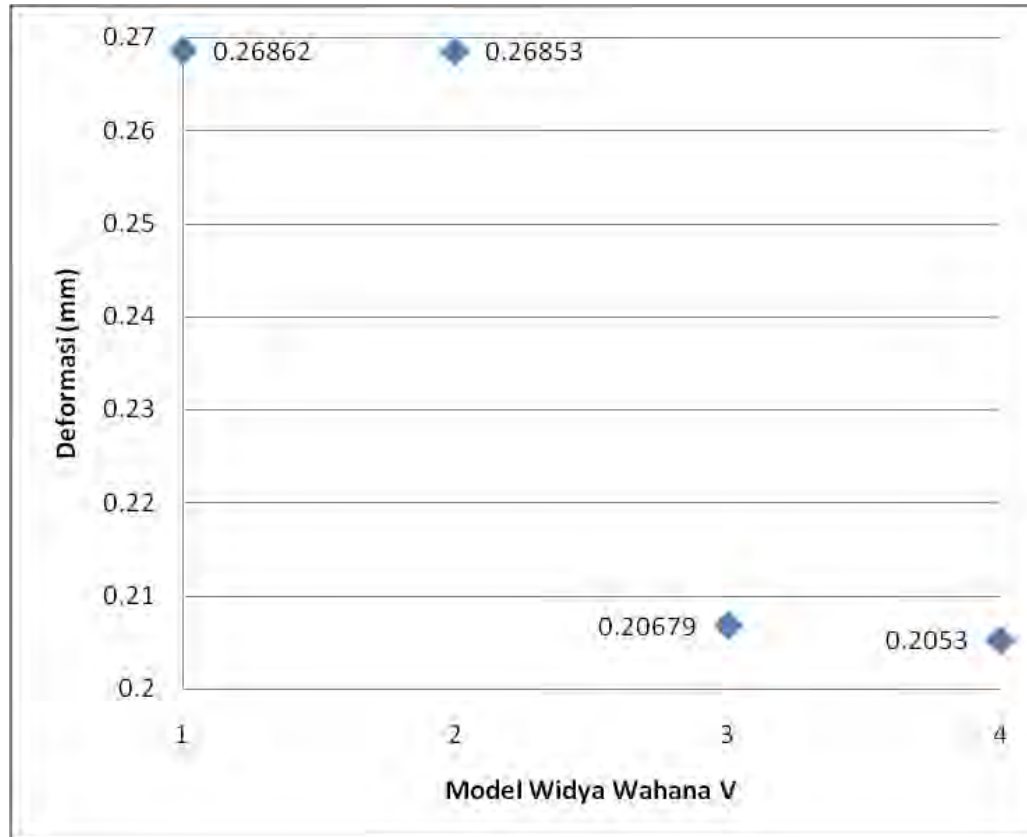
Grafik Tegangan (vertikal bending) & Berat – Variasi Model



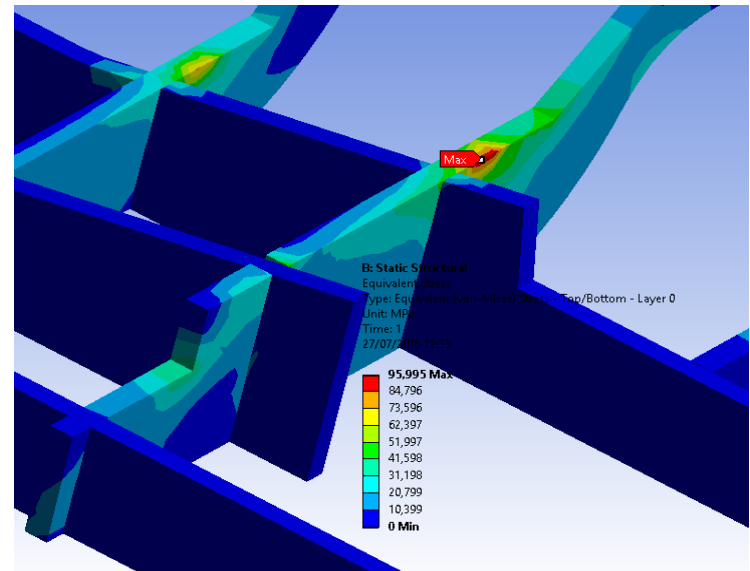
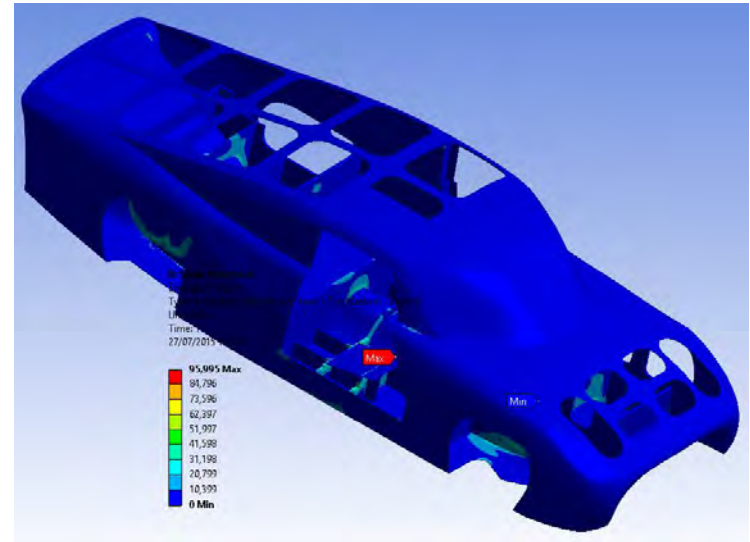
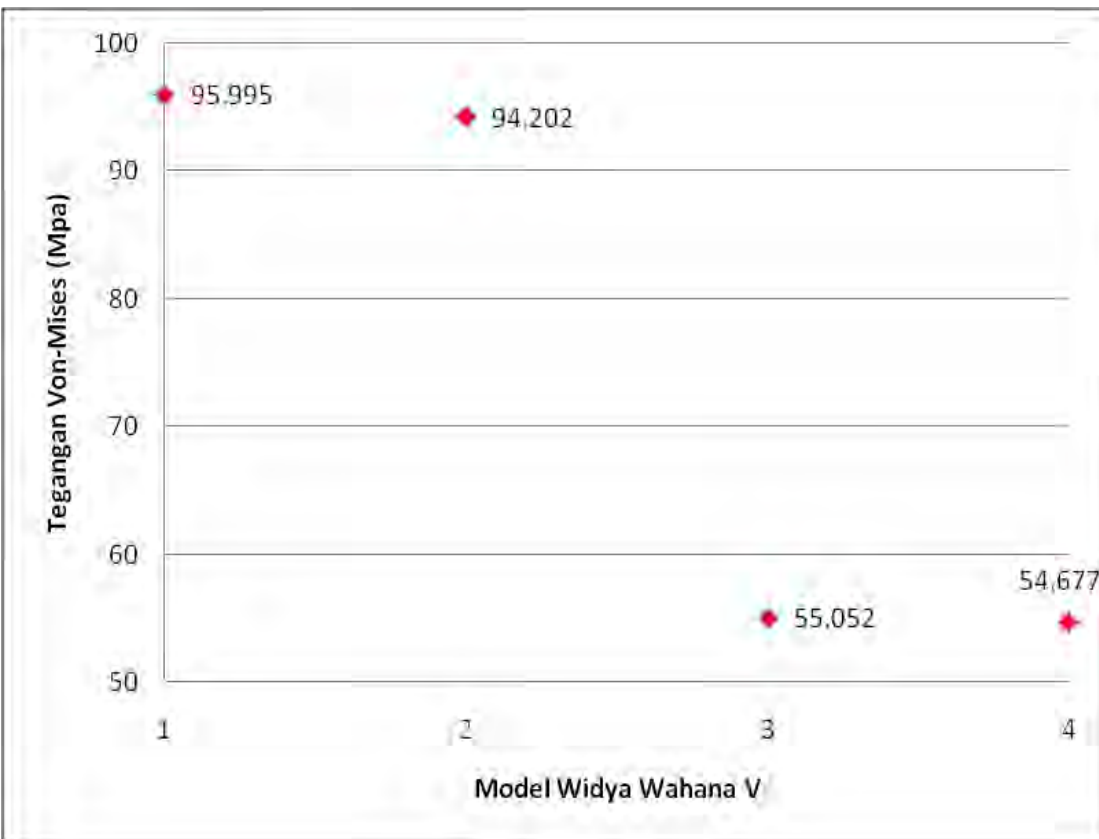
Grafik Deformasi Total (vertikal bending) – Variasi Model



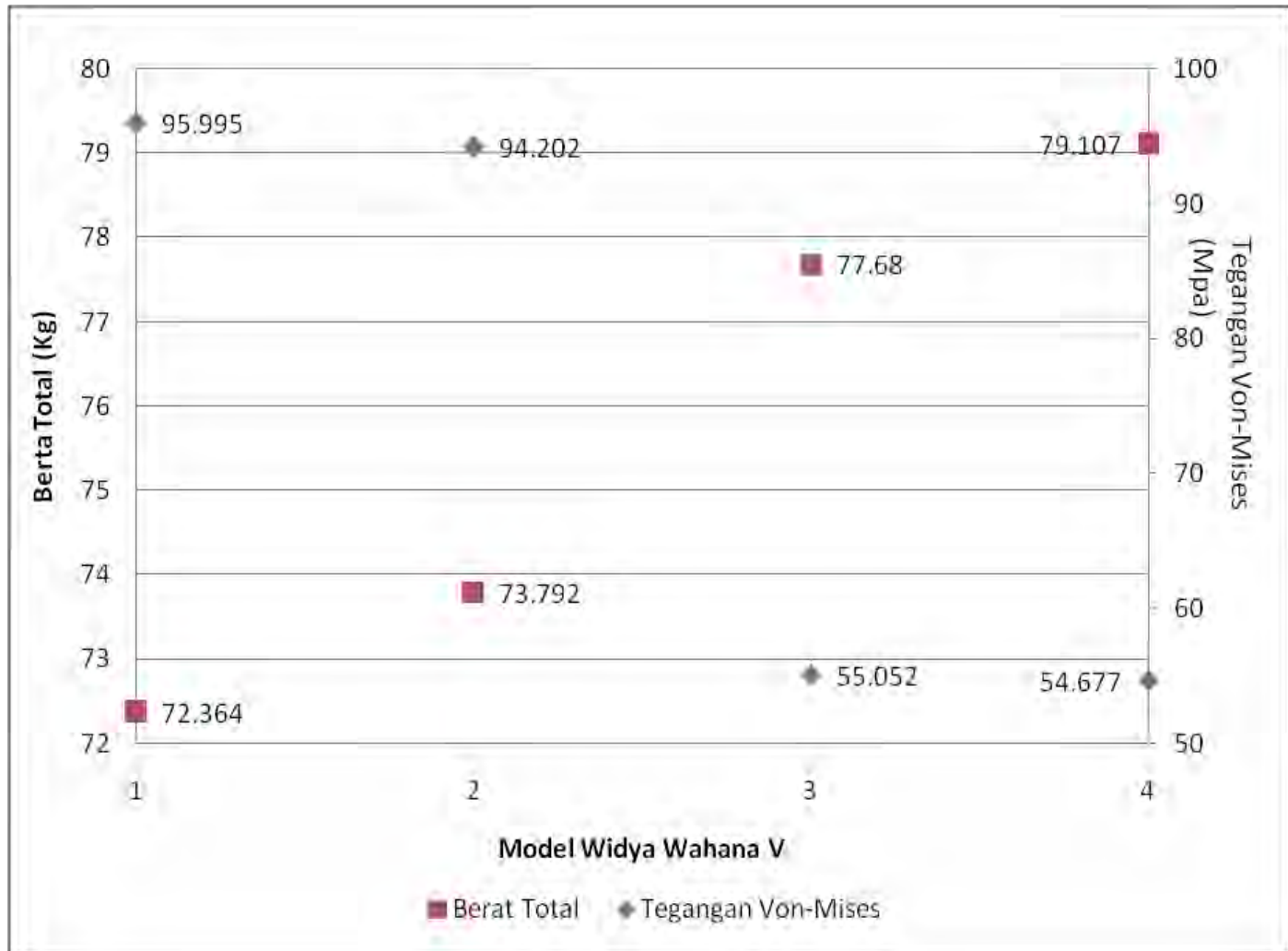
Grafik Deformasi Total (vertikal bending) – Variasi Model



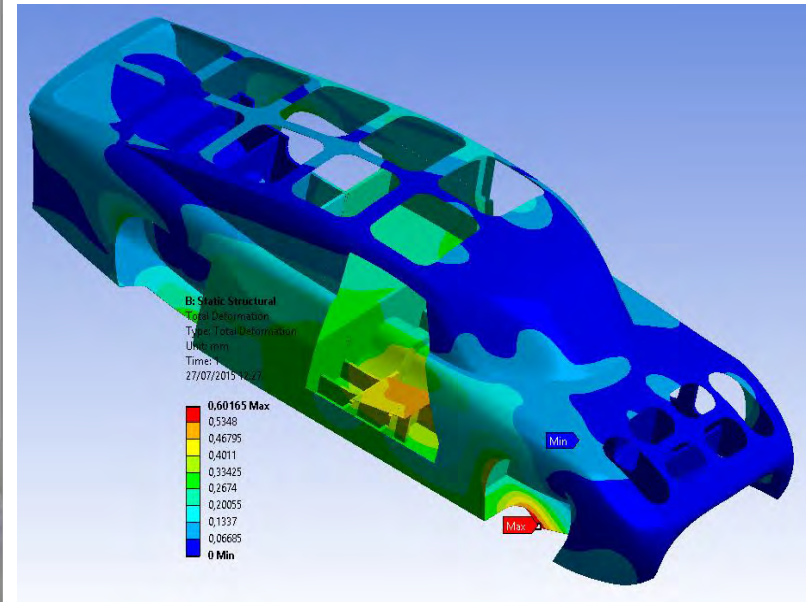
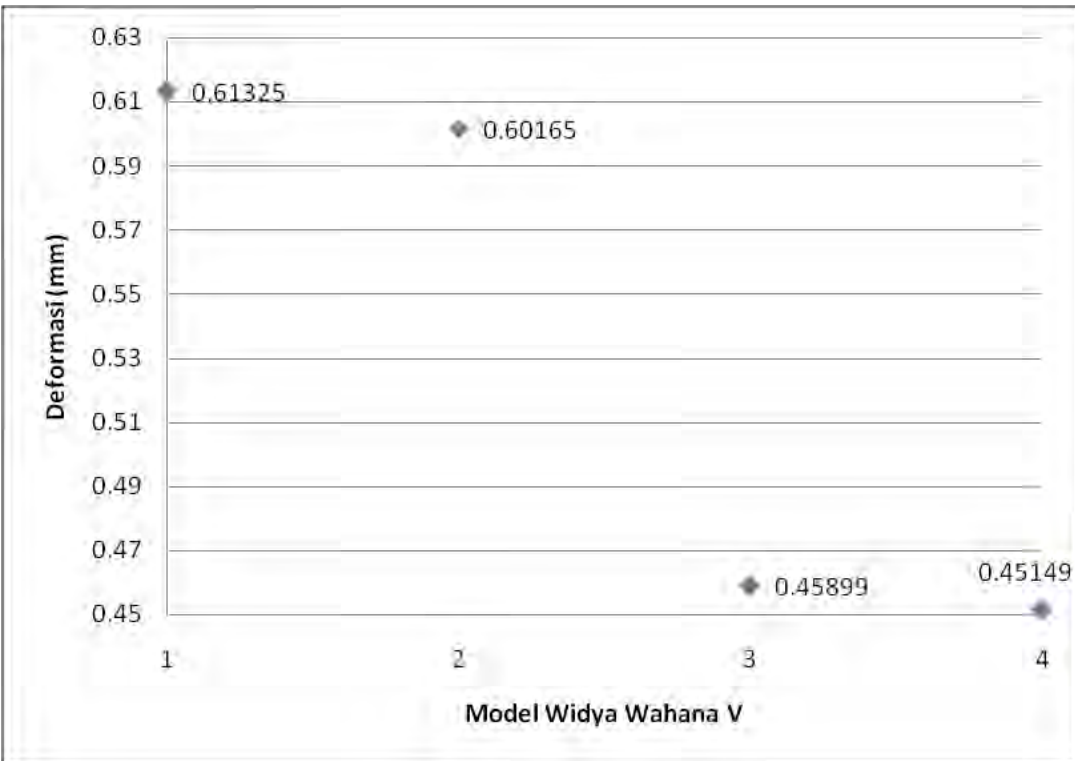
Grafik Tegangan *Von Mises* (lateral bending) – Variasi Model



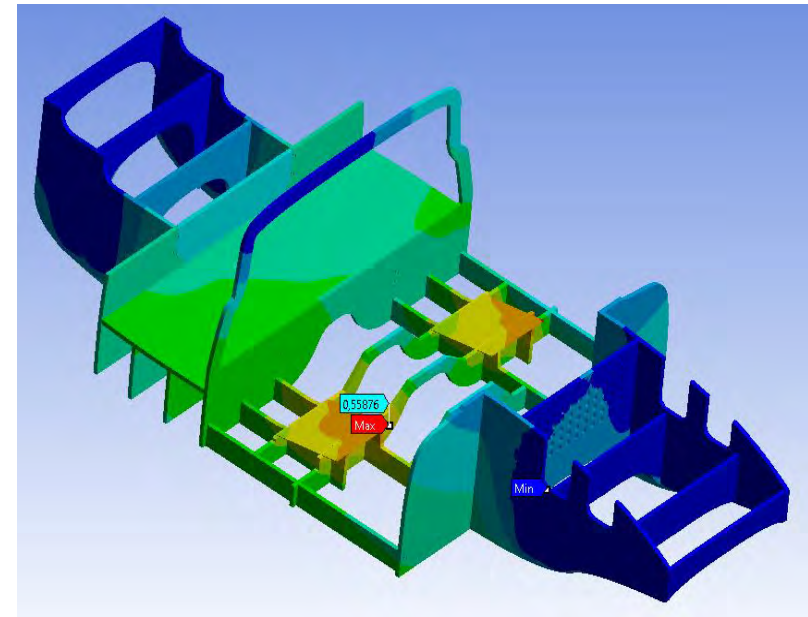
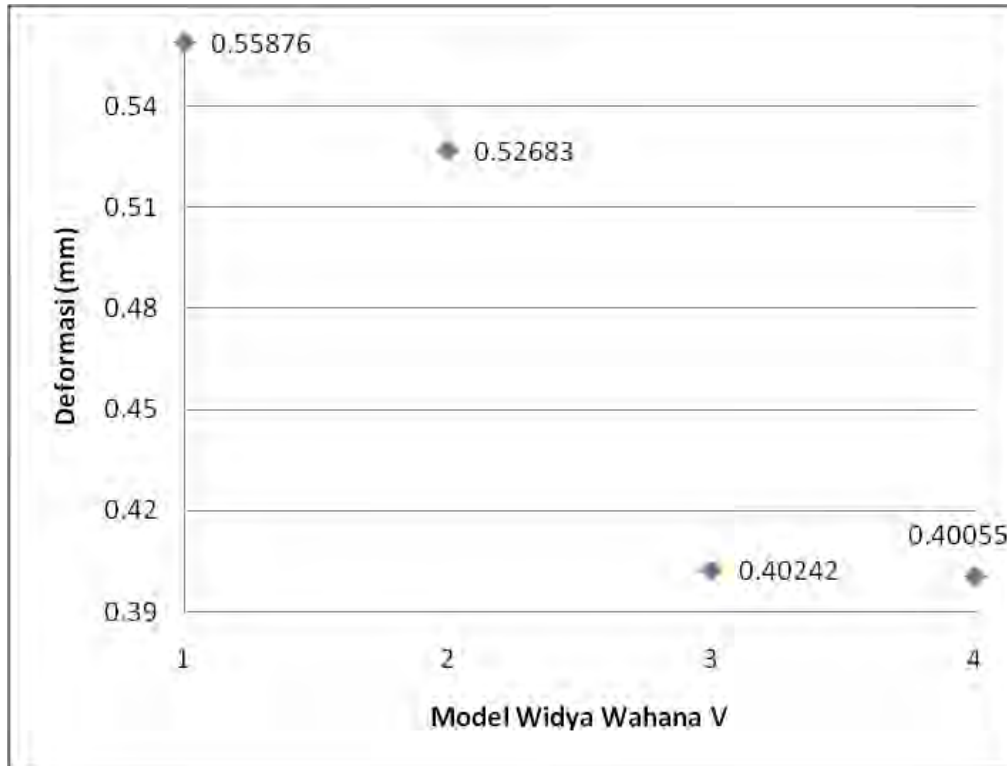
Grafik Tegangan (lateral bending) & Berat – Variasi Model



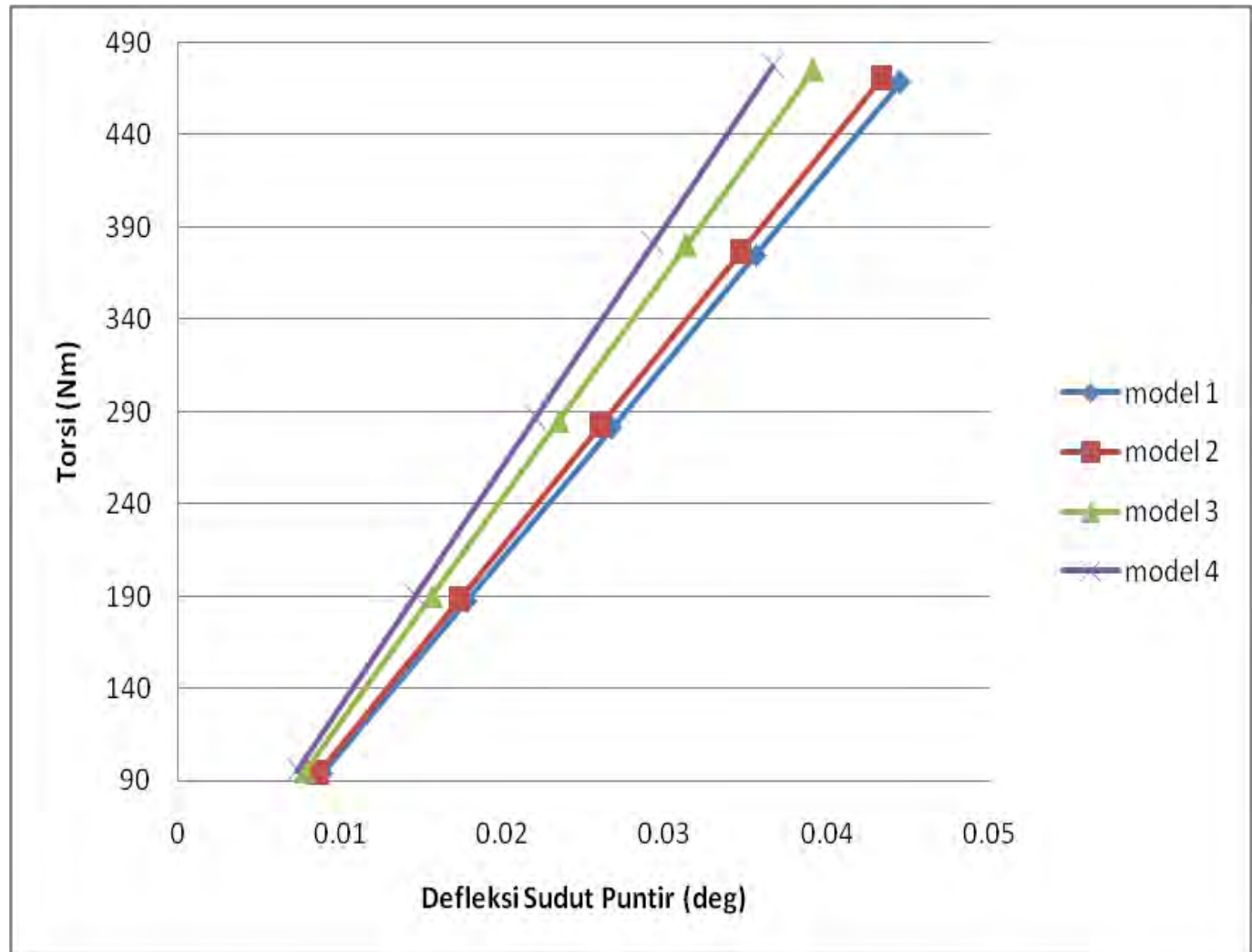
Grafik Deformasi Total (lateral bending) – Variasi Model



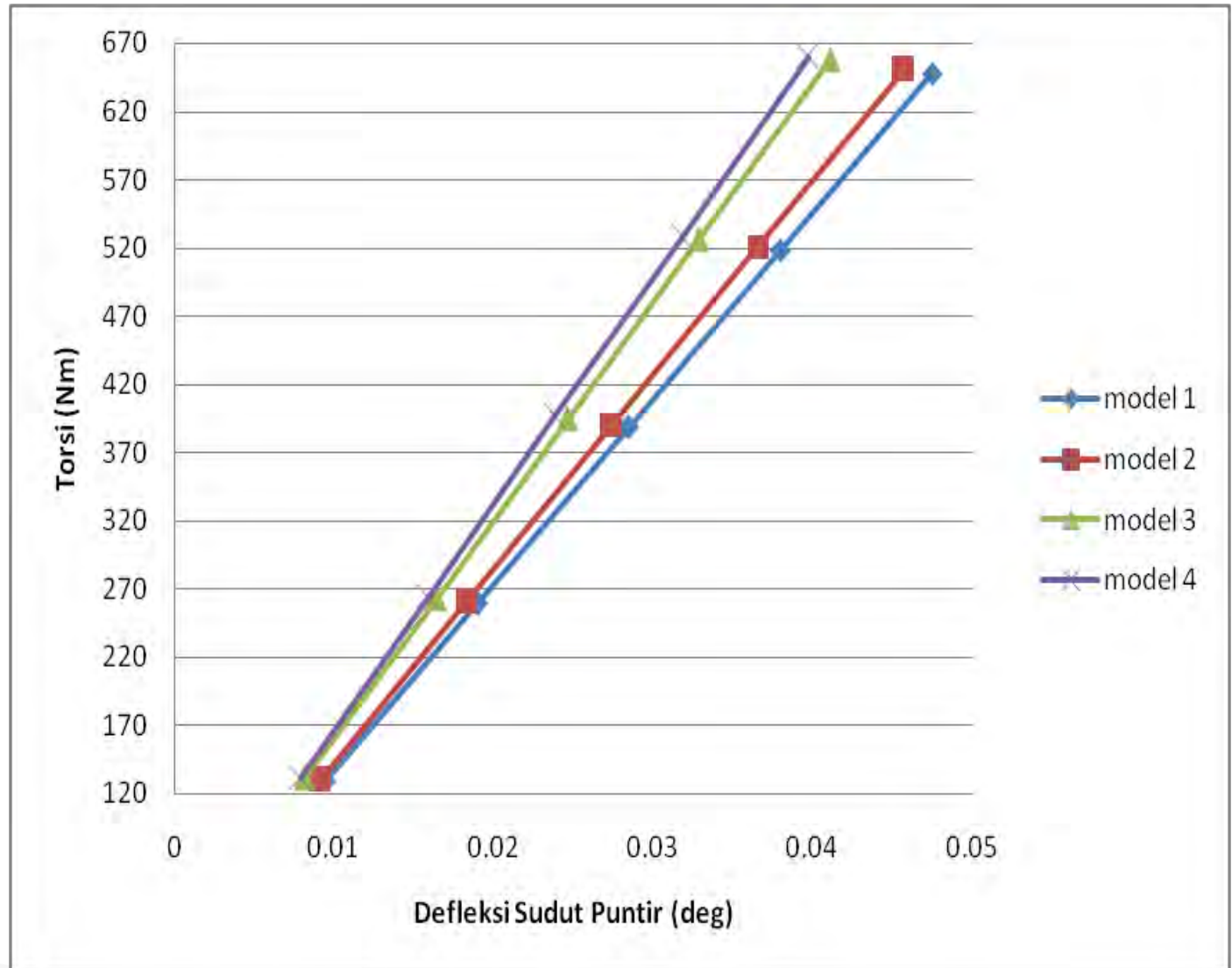
Grafik Deformasi Total (lateral bending) – Variasi Model



Grafik Torsi – Defleksi Sudut Puntir Pembebanan Depan

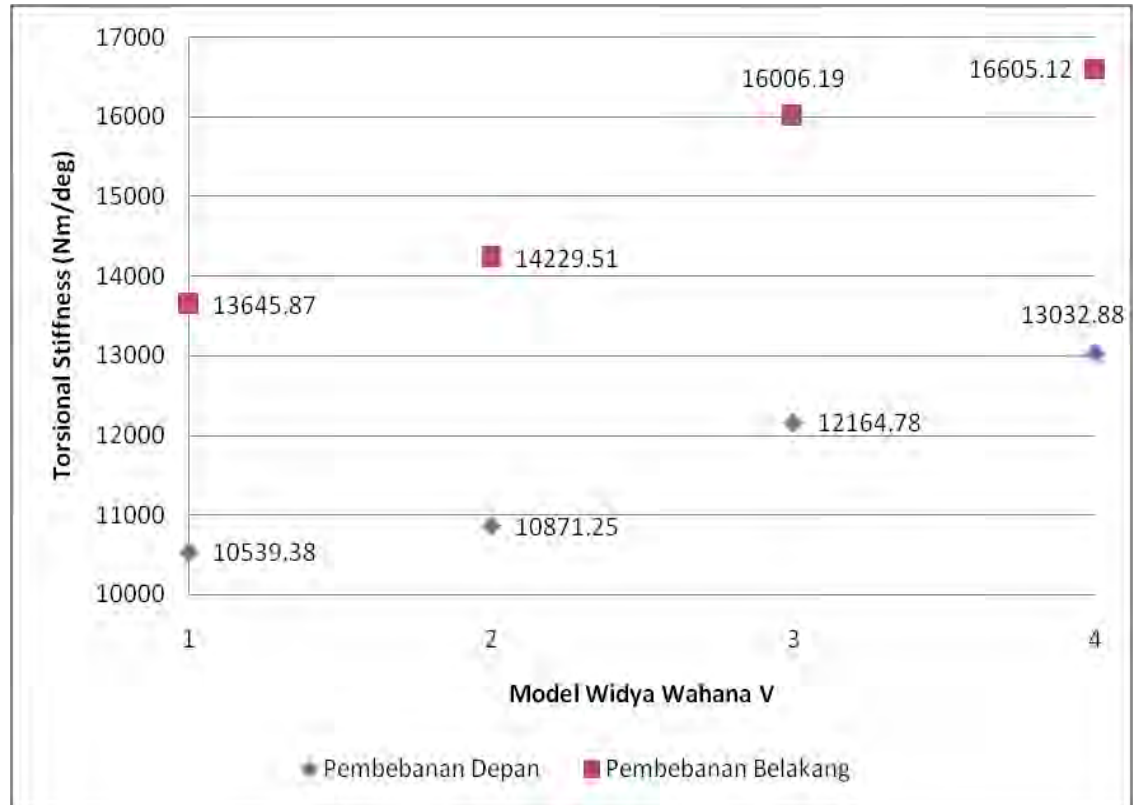
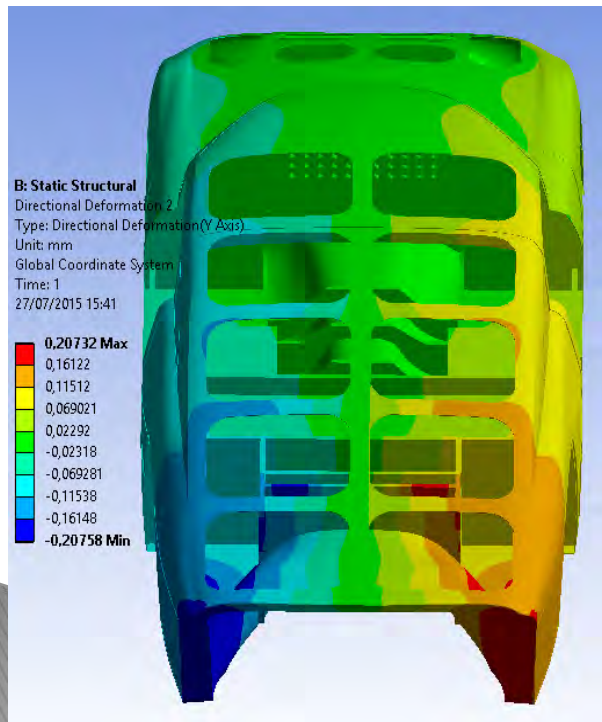
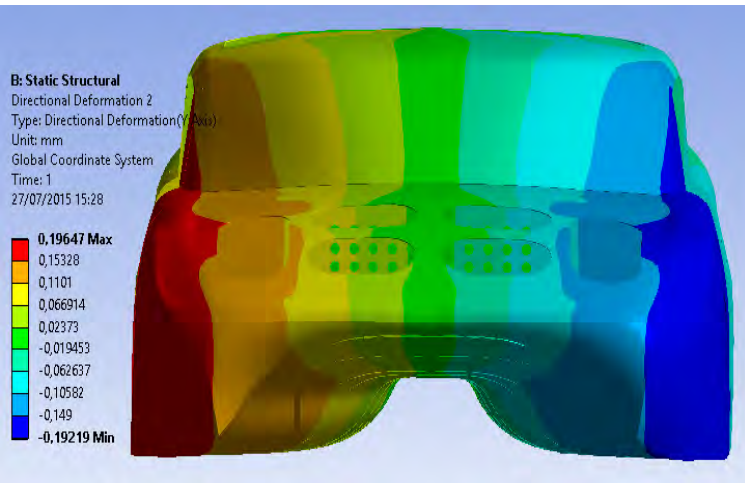


Grafik Torsi – Defleksi Sudut Puntir Pembebanan Belakang



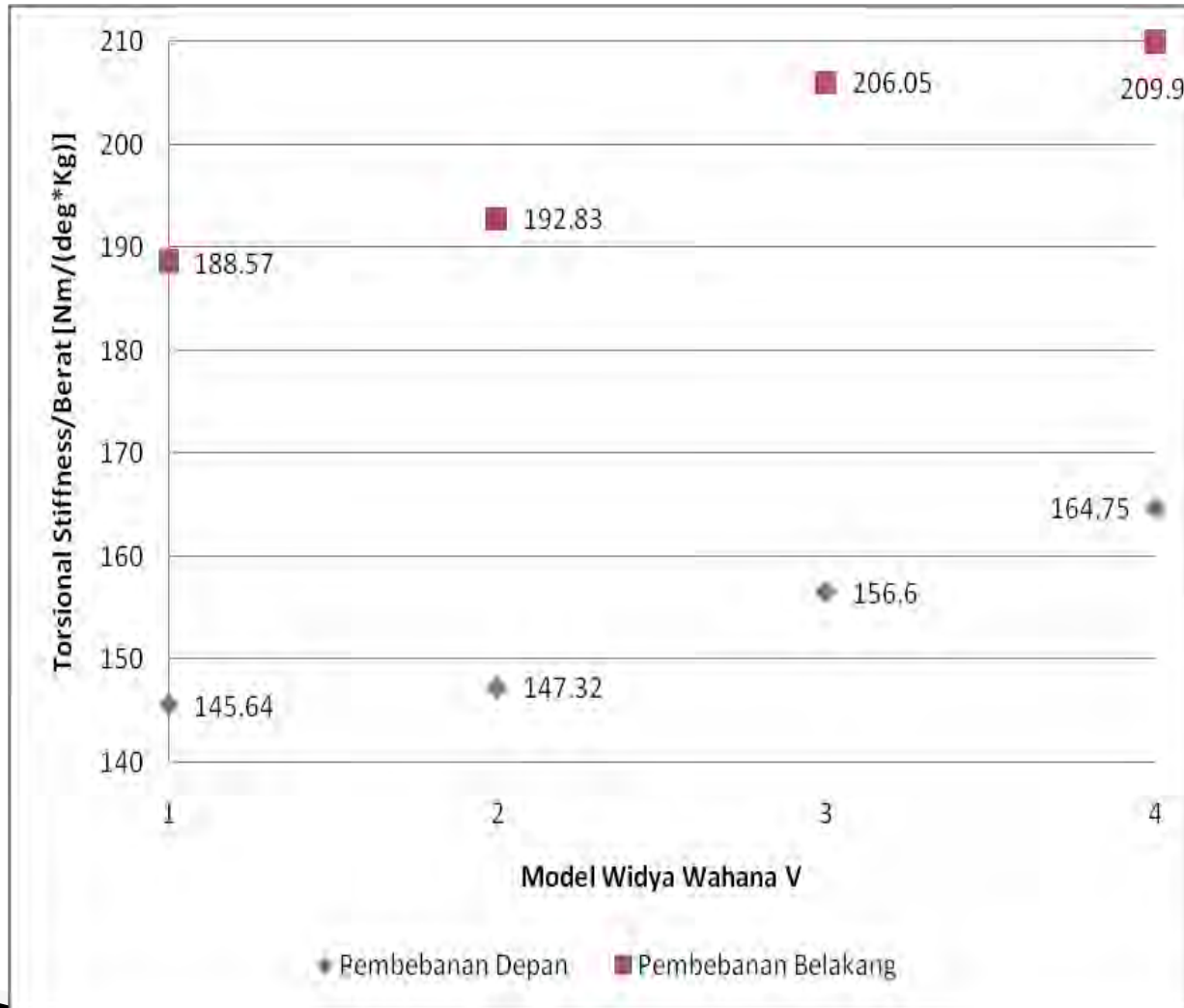
Grafik

Torsional Stiffness – Variasi Model



Grafik

Torsional Stiffness/Berat – Variasi Model



KESIMPULAN

Model	Tegangan Von-Mises (Mpa)		Torsional Stiffness (Nm/deg)	Θ (deg)	F (N)	Berat (Kg)
	Vertikal Bending	Lateral Bending				
1	28.653	95.995	10539.38	0.0444	936.15	72.364
2	28.605	94.202	10871.25	0.0432	939.81	73.792
3	20.926	55.052	12164.78	0.039	949.82	77.68
4	20.918	54.677	13032.88	0.0366	953.5	79.108

Model yang dapat digunakan sebagai rancangan Widya Wahana V untuk *World Solar Challenge* 2015 adalah model 1, karena model 1 memiliki berat yang paling ringan serta kekuatan dan kekakuan yang baik jika berada pada jalan Australia yang rata dan mulus.

TERIMA KASIH